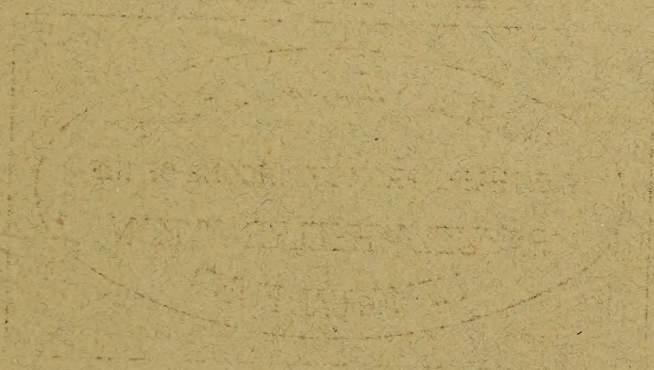
BOSTON MEDICAL LIBRARY
PURCHASED FROM THE INCOME OF THE
SAMUEL WHEELER WYMAN
MEMORIAL FUND



Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/korperbauundmens0000drme

KÖRPERBAU
UND
MENSCHWERDUNG
KONSTRUKTIONSPLÄNE

NACH DER BALLONTHEORIE UND DEM PRINZIP DER STATISCHEN GLEICHGEWICHTSLAGE

ENTHÜLLT DURCH EINE

KAUSALANALYSE DER MENSCHLICHEN BECKENFORM

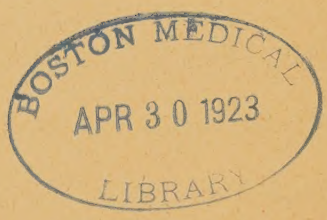
VON

DR. MED. MAX VON ARX
OLTEN

MIT 110 LEHR- UND BEWEISSÄTZEN,
130 ABBILDUNGEN IM TEXT UND 21 TEILS FARBIGEN TAFELN

1922

VERLAG ERNST BIRCHER LEIPZIG
AKTIENGESELLSCHAFT



Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

Copyright by Verlag Ernst Bircher Aktiengesellschaft, Bern 1922.

20592 Hy

* 3.A.12.

Dem Andenken an

Hermann v. Meyer, Culmann
und Wilhelm His

in Ehrfurcht gewidmet

vom Verfasser.

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit ist hervorgegangen aus Erwägungen und gynäkologischen Reflexionen eines praktischen Arztes über die mechanischen Vorgänge bei der Entstehung und Ausbildung der Uterusprolapse.

Als Schüler unseres hochverehrten Anatomielehrers Prof. H. MEYER in Zürich hatte ich schon als Student der Medizin das Gefühl gehabt, daß die damals geläufigen Darstellungen über das Zustandekommem der weiblichen Genitalprolapse in ihren verschiedenen Modifikationen einer richtigen Anschauung und mechanistischen Grundlage entbehrten. Ich kam dann zu der sichern Überzeugung, daß alle diesbezüglichen physiologischen wie pathologischen Erscheinungen und Vorgänge mehr mit bekannten physikalischen Gesetzen in Einklang zu bringen seien, als dies bis anhin geschehen ist, und daß insbesondere der reinen Energetik der toten Masse des Eingeweideinhaltes eine größere Bedeutung beigelegt werden müsse. Ich erinnere mich wohl, schon damals Komilitonen gegenüber meine Bedenken geäußert zu haben.

Zwölf Jahre später (1894) sodann gab mir ein besonders schwerer Fall von Uterusprolaps in meiner Privatpraxis, der schon mehrfach auswärts ohne Erfolg operativ in Angriff genommen worden war, Anstoß zu meinen ersten Beckenstudien, deren greifbar praktische Resultate ich um die Mitte der neunziger Jahre in drei kleineren Arbeiten*) veröffentlichte. Diese Studien hatten sich bereits von Anfang an auf den Boden einer genauern statischen Orientierung der Beckenform gestellt, und eines damit im Zusammenhang mathematisch exakt arbeitenden Untersuchungs- und Darstellungsverfahrens. Damit hatte ich bereits den Boden herkömmlicher Beckenforschung, die stets nur auf Grund konventioneller und traditioneller Beckenmaße praktischer Geburtshelfer und Anatomen ausgeführt wurden, verlassen. So überraschend die gewonnenen Resultate der neuen Methode von Anfang an aber auch sein mochten, und so sehr mich selber die praktischen Erfolge derselben befriedigten, sie blieben im Ganzen unbeachtet und unverstanden. Mir aber gaben die schon damals gewonnenen Resultate das sichere Gefühl, daß man auf dem neu betretenen Wege mit Erfolg weiter komme. Wenn auch die Beobachtungen zunächst noch sehr lückenhaft und ohne innern Zusammenhang vor mir lagen, so ahnte ich bereits etwas von einem *mathematisch-systematischen Aufbau der Form;* denn ich war in meinen Untersuchungen damals schon soweit gekommen, daß sich die beiden Geschlechtstypen der menschlichen Beckenform, was bisher niemand für möglich gehalten hätte, in ihren Umrissen mit dem Zirkel zeichnen ließen. — Die bisherigen Beckenforschungen anhand großer Beckenserien hatten gerade umgekehrt speziell die Abweichungen von der Norm, statt diese selber ins Auge gefaßt.

Mehr als ein Jahrzehnt ließ ich dann die Untersuchungen ruhen und begnügte mich als Gynäkologe mit den gewonnenen praktischen Erfolgen.

Im Jahre 1908 ging ich neuerdings an die Arbeit, und wiederum mit der Methode der orthogonalen Projektion und darstellenden Geometrie arbeitend machte ich bald

*) Corr. f. Schwz. A. 1896, Nr. 13; Arch. f. Anat. u. Phys. 1896; Volkm. S. klin. V. NF. Nr. 210.

eine Menge der interessantesten und bedeutungsvollsten Entdeckungen, Entdeckungen mathematischer Gesetze und Korrelationen in unserem Körperbau, die ihrerseits wiederum auf die Wirkungs- und Angriffsweise dynamischer Kräfte schließen ließen. Die Beckenstudie war damit bereits unbemerkt auf das Gebiet der Statik der ganzen Körperform hinübergeglitten.

Formentwicklung und -umwandlung des Individuums anhand eines fortschreitenden Lagewechsels bestimmter Punkte verfolgend mußte ich nun aber auch die Entwicklungsgeschichte in den Rahmen meiner Untersuchungen einbeziehen, insoweit wenigstens, als sie imstande war, Aufschlüsse zu geben über das kausale Nebeneinandersein der Dinge, d. h.: Ich mußte an verschiedenen Phasen der Entwicklung den lokalen Kausalkonnex auch auf seine zeitliche Persistenz zu prüfen unternehmen.

Dabei kam mir Herr Prof. KOLLMANN in Basel in der liebenswürdigsten Weise entgegen. Ich verdanke seiner Güte die Präparation einer ganzen Anzahl von verschiedenaltrigen menschlichen Früchten, die ich ihm übergeben hatte und der Verfasser erstattet an dieser Stelle Herrn Prof. KOLLMANN, sowie den Herren G. NEUWEILER, Mathem.-Lehrer und Dipl.-Ing. Dr.-Ing. THEOPHIL WYSS den besten Dank für ihre wertvolle Unterstützung, die sie ihm bei der Durchsicht des Werkes haben zuteil werden lassen.

Die Einführung einer technisch bewährten Untersuchungs- und Darstellungsmethode in die Beckenforschung, die vor allem aus genauere Winkelberechnung auf trigonometrischem Wege ermöglichte, hatte sich voll und ganz bewährt, und so durfte ich es wagen, im Jahre 1909 den ehrenden Einladungen der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie nach Straßburg und zum Medizinischen Kongreß nach Budapest Folge leistend, mit den neuen Ergebnissen meiner Studie, die ich damals unter dem Titel: „Auf neuen Pfaden der Beckenforschung“ in einige Leitsätze zusammenfaßte, vor die Öffentlichkeit zu treten. Sie konnten indes ein allgemeines Verständnis schon deshalb nicht finden, weil es unmöglich war, das bereits ausgiebige mathematische Beweismaterial — Lehrsatz an Lehrsatz gereiht — in den engen Rahmen eines kurzen Referates zusammenzudrängen.

So mußte ich mich, wenn auch nur ungern, da ich mir der großen Schwierigkeiten eines solchen Unternehmens vollauf bewußt war, zur schriftlichen Niederlegung der gewonnenen Resultate in Buchform bequemen. Dazu hatte ich mich, der ich bis anhin meine eigenen Wege gegangen war, in die neuern Forschungen der Entwicklungsmechanik einzuarbeiten. Herr Prof. DDr. W. ROUX in Halle unterstützte mich hierbei in verdankenswertester Weise durch den Hinweis auf die neueste Literatur.

Im Jahre 1911 war das Manuskript fertig und von jenem Autor zum Druck empfohlen. Ich hatte darin eine Dreiteilung des Stoffes vorgesehen, die mich indes selber nicht befriedigte. So entschloß ich mich von mir aus dasselbe nochmals gründlich umzuändern. Auch die Tafeln mußten übersichtlicher gestaltet werden. Dies geschah erst zur Schweizerischen Landesausstellung in Bern 1914, die dann jäh durch den Ausbruch des Weltkrieges unterbrochen wurde. An eine Herausgabe des umfassenden Werkes war jetzt nicht mehr zu denken, und erst kurz vor Schluß des Krieges im September 1918 entschloß ich mich, die leitenden Gedanken meiner Studie in einem Essai niederzulegen, um sie doch möglichst bald zur Diskussion und in Fluß zu bringen. Das kleine Büchlein, im Verlag H. Hambrecht

in Olten erschienen, trägt den Titel: „Evolution der organischen Substanz, eine Studie hervorgegangen aus der Kausalanalyse der menschlichen Beckenform"; und deutet bereits darauf hin, welchen Umfang der Stoff genommen hat, und wie sehr sich die letzten Schlußfolgerungen von der ursprünglich einzig ins Auge gefaßten Beckenforschung entfernt haben, indem sie auf alle erdenklichen Gebiete überspringend die Grundvesten unseres biologischen Denkens und Wissens zu erschüttern drohen. Wenn also die vorliegende Arbeit in ihrer Gesamtheit keineswegs eine intuitierte, d. h. von Anfang an gewollte Lösung einer gestellten Aufgabe darstellt, die sich auf ein spezielles Untersuchungsfeld beschränkt, so bleibt ihr Wert trotzdem, oder vielleicht gerade weil sie sich immer weiter auf statisch-mechanische und biologische Gebiete ausdehnte, ungeschmälert. Um so größer aber auch sind die Schwierigkeiten und Gefahren geworden, die daraus erwachsen sind, um so zahlreicher die Anschlüsse, die immer und immer wieder gesucht werden mußten, um das einmal Gefundene im Einklang zu wissen mit den Resultaten der Forschung nicht nur auf den Grenzgebieten der praktischen Medizin: der Anthropologie im weitesten Sinne, der vergleichenden Anatomie, der Biologie und Entwicklungsmechanik, der Statik und Mechanik, sondern fast auf allen Gebieten der exakten Forschung überhaupt. Jede wissenschaftliche Arbeit aber wird um so dankbarer, um so gesicherter sind ihre Ergebnisse, je mehr sich ihr Untersuchungsmaterial erweitert und ihre Thesen sich verallgemeinern lassen. Und sollte auch diese Studie äußerlich dadurch verloren haben, daß sie sich allzuweit von ihrem ursprünglichen Ziele entfernt hat, so darf trotzdem ehrlich behauptet werden, daß sie durch diese Verallgemeinerung des Stoffes auf der andern Seite weit mehr als das Verlorene an innerem Werte gewonnen hat, indem auch die Grenzgebiete davon profitieren können. Und dann: Je weniger Grenzen sich die Wissenschaft in ihrer Forschung selber auferlegt, um so sicherer sind die Thesen einer Theorie, um so lichtvoller wird die Beleuchtung der Materie.

Die Möglichkeit einer trigonometrischen Berechnung der durch die neue Darstellungsmanier nunmehr der optischen Täuschung entzogenen Beckenform, die Ergründung eines genetisch wie statisch haltbaren Achsensystems derselben, das Auseinanderhalten reeller und ideeller Becken-Punkte, -Linien, -Ebenen- und -Winkel und die Bewertung nach ihrer *mechano-statischen Funktion* hatten im Beckenbau bald eine Trennung in *ein mechanisch-formbildendes* und *ein statisch-formerhaltendes System* erkennen lassen; beide erscheinen in einem konstanten Verhältnis zueinander. Und diese Systeme dehnen sich weiterhin über die ganze menschliche Körperform aus. Die *Konstruktion des Lendenknicks* sodann erklärte den Unterschied der menschlichen Beckenform von der tierischen und brachte in verblüffend einfacher Weise einen Lichtblick in den *Akt der Anthropogenese,* der eben so lange gesucht wie verdunkelt war.

Aber die Bewertung der Begriffe von mechanischer Formbildung und statischer Formerhaltung der animalen Substanz ging noch weiter. Sie führte zur Festlegung des Individualitätsbegriffs in den drei Naturreichen, und eines *beständigen Ausgleichs innerer und äußerer Kräfte im anorganischen, pflanzlichen und tierischen Individuum.* Damit wurde die Frage über das Bauprinzip der mineralischen, der vegetabilen und animalischen Substanz bis zur Molekularstruktur hinab aufgerollt und selbst eine Hauptthese der chemischen Wissenschaft: die *Molekularkonstitution* kritisierend gestreift.

Auf physikalischem Gebiet kam die Schwergewichtsfrage ins Rollen. Die Entdeckung einer *Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel* hatte uns wertvolle Aufschlüsse gegeben über das Wesen der biologischen Funktion, hauptsächlich was die *Selbstorganisation*, die *Statik und Mechanik*, sowie die *Lokomotion* anbetrifft. Danach untersteht die lebendige, heterogen gebaute organische Substanz den gleichen mechanistischen Gesetzen, wie die „tote", homogene. Die „biologische Funktion" ist das berechenbare Ergebnis eines Ausgleichs innerer und äußerer Kräfte des Organismus geworden, wobei der Energetik des Eingeweideinhaltes eine Hauptrolle in der Formbildung zukommt. Damit erst steht der *Begriff der biologischen Funktion* auch *im Einklang mit der mathematischen Funktion.*

Diese kurzen Angaben sollen hier nur zeigen, wie sehr die Studie über das Konstruktionsprinzip der Form auf alle erdenklichen Forschungsgebiete der greifbaren Materie hinübergleitet, ohne sich dabei zu erschöpfen. Von der Analyse einer Beckenform des Menschen sind wir ausgegangen, bei der Synthese der Molekularstruktur der anorganischen Substanz sind wir gelandet; Kausalforschung der Form war unser idealer Traum; mit dem genealogischen Stammbaum der Entwicklungsgeschichte in der Hand sind wir erwacht.

Und dieser Stammbaum — er wurzelt fest im sichern Boden des *statischen Gleichgewichtes* und ist gewachsen durch den Ertrag immer neu hinzukommender Korrelationen im statisch-dynamischen Ausgleich des Individuums mit den mechanischen Kräften seiner Außenwelt, vor allem der Schwerkraft.

Der Anordnung des Stoffes aber bot sein beständiges Umsichgreifen immer neue Schwierigkeiten. Ich mußte auch hierin ein eigenes System schaffen. Das geschah, indem ich die ursprüngliche Dreiteiligkeit in der Anlage des Buches verließ und zur Zweiteiligkeit zurückkehrte. Im Ersten Teil suchte ich möglichst vollständig das Beweismaterial unterzubringen, indem ich ähnlich wie in einem mathematischen Lehrbuch Beweissatz an Beweissatz reihte und in die mathematische Analyse und Synthese einer männlichen und einer weiblichen Beckenform auch physikalische Experimente einflocht.

Im Zweiten Teil dagegen schwebte mir ein mehr freigehaltener Aufbau des Ganzen vor auf naturphilosophischer Grundlage. Selbstverständlich nahm ich stets Rücksicht auf die Ergebnisse des Ersten Teils und suchte dabei neuern Anschauungen über den Zusammenhang von Stoff, Form und Funktion zum Durchbruch zu verhelfen. Daraus ergibt sich die Evolution des Stoffes auf rein natürliche Weise, die Entstehung des Lebens aus der anorganischen, sowie die Weiterentwicklung der organischen, lebenden Substanz, als deren Schlußakt wir heute die Menschwerdung auffassen.

Diese Zweiteilung des Stoffes bietet nun entschiedene Vorteile. Der Erste Teil schließt die Kausalanalyse der menschlichen Beckenform gesondert in sich und zeichnet die neuen Wege, die man bei einer Kausalanalyse biologischer Formen überhaupt zu gehen hat. (Projektionsmanier, Darstellung, trigonometrische Berechnung und synthetische Rekonstruktion der Form.) Der Zweite Teil, die Resultate des Ersten Teils verwertend, sucht ergänzend die Beziehungen zwischen der ontogenetischen und phylogenetischen Entwicklungsreihe klar zu legen, indem er speziell die mechanischen äußern Faktoren, die für die „innere" Organisation und Entwicklung der organischen Artsubstanz in beiden Reihen maß- und ausschlaggebend sind, näher unter die Lupe nimmt. So wird dieser Zweite Teil

wieder ein geschlossenes Ganzes für sich, der auch ohne den Ersten Teil verständlich ist, indem dieser nur zum Nachschlagewerk des zweiten Abschnittes geworden ist.

Die historische Entwicklung der ganzen Studie kommt damit auch äußerlich am besten zur Geltung und die Darstellung hat den Vorteil, daß sie es dem Leser ermöglicht, je nach seiner Liebhaberei dem einen oder dem andern Teil zuerst sein Interesse entgegenzubringen. Es wird dann, so hoffe ich zuversichtlich, nach dem Studium der einen, mit gesteigertem Interesse auch die andere Hälfte des Buches in Angriff genommen werden.

Freilich sind auch bei dieser Anordnung häufige Wiederholungen nicht zu vermeiden gewesen, da die Beweisführung gar oft Unterbruch erleidet, indem weitere Beweise aus andern Untersuchungsgebieten herbeigeholt werden mußten. Ein Teil des Beweismaterials konnte sogar erst im Zweiten Teil Aufnahme finden, da das Verständnis dafür im Ersten Teil noch gemangelt hätte. Für all diese Unzukömmlichkeiten muß ich den Leser um gütige Nachsicht bitten; aber ich bin der festen Überzeugung, daß er das Buch trotzdem nicht ohne innere Befriedigung aus der Hand legen wird. — —

* * *

Nichts war mir ursprünglich ferner gelegen, als der Wunsch, mich naturphilosophischen Studien hinzugeben — ja ich hatte sogar stets eine gewisse Abscheu davor. Wenn ich es in der Folge dennoch tat und fernab vom Tempel der Wissenschaft einen großen Teil der Mußezeit meiner privat- und spitalärztlichen Praxis dafür opferte, so muß ich hierfür in erster Linie die Lehrer eines vorzüglichen naturwissenschaftlichen Unterrichts am Gymnasium und späterhin meinen verehrten Anatomielehrer und Statiker H. MEYER verantwortlich machen, die beide ihre Schüler zum selbständigen Denken anzuregen wußten. Schon in der Sekundarschule waren mir die Liebe zur zeichnerischen Darstellung und die Anfangsgründe und Vorzüge einer orthogonalen Projektion und der darstellenden Geometrie beigebracht worden.

So bin ich denn, ein Suchender, ausgezogen, nicht um mich auf vielbegangenen Wegen im schattigen Lorbeerhain der Wissenschaft lustwandelnd zu ergehen. Den praktischen Arzt leitete nur der eine nächstliegende Gedanke: Das Streben zu helfen. Dies kann aber meiner Auffassung nach nur dadurch geschehen, daß man dem pathologischen Geschehen zuerst durch tiefere Ergründung des Normalgeschehens nachforscht. Aus diesem Streben heraus verfiel ich zunächst auf die Kausalanalyse der Beckenform. Auf halbem Wege aber konnte ich nicht stehen bleiben. Die Überzeugung, auf dem richtigen Wege zu sein, trieb mich weiter.

Ich erkannte nicht ohne innere Genugtuung das wunderbare Ineinandergreifen einfachster Naturkräfte aus dem harmonischen Aufbau der Form. Die Einheit des Gedankens auf den verschiedensten Gebieten mag für seine Richtigkeit bürgen.

Es ist mein sehnlichster Wunsch, daß mir Viele auf dem ungewohnten, aber sichern Pfade folgen und ihn zur weiten bequemen Straße ausbauen werden.

Olten, im Februar 1922.

Der Verfasser.

Inhalt des Ersten Teils.

Kausalanalyse und Synthese der menschlichen Beckenform.

Seite

Vorwort V

Einleitung 1

1. Geschichtlicher Überblick über den gegenwärtigen Stand der Beckenforschung und Ausblick in andere Forschungsgebiete 3
2. Über den Begriff „Kausalanalyse" im allgemeinen und der Kausalanalyse der menschlichen Beckenform im besondern 13
3. Über die Orientierung und Darstellungsmethode der Beckenform. Vertikalorientierung und Orthogonalprojektion 15

I. Formanalyse und -Synthese eines **männlichen** Beckens 21

A. Analytische Formzergliederung 23

1. *Projektion auf die mediane Symmetrie-Ebene* Γ_1. **Seitenansicht** 23
2. *Weitere Untersuchungen auf* Γ_1 40
   a) Medianschnitte von menschlichen Früchten 42
   b) Die Grundform der menschlichen Frucht 50
   c) Ursachen und Konstruktion des Lenden- und Steißbeinknicks. Experiment I 60
   d) Das physikalische Experiment II—IV 72
   e) Tote und lebende Substanz; Elastizität und Kontraktilität; Selbstdifferenzierung des Plasmas 75
   f) Das mechanische Prinzip im Aufbau der Körperform; Folgen des *Lendenknicks*. Experiment V—IX 87
3. *Das Konstruktionsprinzip auf der Medianebene* Γ_1 96
   a) Die Konstruktion der Form auf Γ_1 103
   b) Die mathematische Evolution der beiden Beckenkreise 109
   Weitere Projektionen und Konstruktionen des männlichen Beckens 115
4. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_2. **Frontalansicht** 117
5. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_3. **Grundriß** 120
6. *Projektion und Konstruktion auf die* **Ebene der Hauptachse** Γ_s 123
   a) Projektion des Schambeinwinkels 127
   b) Gestaltung des Innenraumes der männlichen Beckenform 130
   c) Berechnung der Blasenkugel 132
7. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_t. **Ebene der Stützachse** 134
8. *Schenkelstellung zum männlichen Becken in Ruhelage* 136

B. Synthese der männlichen Beckenform. Synthetische **Aufgaben** I—V 139

Seite

II. Formanalyse und -Synthese eines **weiblichen** Beckens 147

A. Analytische Formzergliederung 147

1. *Projektion und Konstruktion auf die Medianebene* Γ_1. **Seitenansicht** 147
a) Lagerelation der Projektions-Punkte auf Γ_1 147
b) Das mathematische System des weiblichen Beckentypus 151
c) Das physikalische System des weiblichen Beckentypus 158
α) Beckendaches 158
β) Beckenbodenmechanismus. Funktion des weiblichen Beckenbodens 159
γ) Blase und Uterus; Experiment X 167
δ) Die Wanderung der Drehachse 169

2. *Vergleichung des Projektionsbildes der Medianebene beim männlichen und weiblichen Beckentypus;* Konstruktion auf gleicher Basis. Die Ausweitung der weiblichen Form und ihre Ursachen 170
a) Verschiebung der Fixpunkte; Ausweitung des Beckenrings 172
Drehachse. Symphyse, Beckendach, Promontorium . . . . . 173—176
b) Maschinelles Zusammenwirken von Blase und Uterus 180

3. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_3. **Frontalansicht** 184
Kreis- und Tangentenkonstruktion 185

4. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_3. **Grundriß** 188

5. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_τ. **Ebene der Stützachse** 189

6. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_σ. **Ebene der Hauptachse** 190

7. *Projektion und Konstruktion auf* Γ_λ. **Schambeinebene** 191

8. *Schenkelstellung zum weiblichen Becken in Ruhelage* 197

B. Synthese der weiblichen Beckenform. Synthetische **Aufgaben VI—XII** 203

Inhalt des Zweiten Teils.

Der dynamo-statische Faktor im Gestalten und Erhalten der Form.

Seite

A. Summarischer Rückblick über die gewonnenen Resultate der Analyse der menschlichen Beckenform 215

B. Neue Anschauungen über Entstehung und Aufbau der tierischen Körperform . . 219

I. Gedanken über die Entstehung des Lebens in der leblosen Substanz 219
1. Allgemeines über Stoff und Form einfacher und zusammengesetzter Körper 219
2. Das Protoplasma und seine Bestandteile als Träger des „Lebens“ 220
3. Der einzellige lebende Organismus 224

II. Die natürliche Weiterentwicklung in der Organisation der lebendigen Substanz . . 230
1. *Das Leben im zusammengesetzten Organismus* 230
a) Arbeitsteilung und Organisationsprinzip 230
b) Beziehungen zwischen mechanischer Funktion und Form 235
c) Vererbung und funktionelle Anpassung 239
d) Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel 243
e) Entstehung neuer Arten. Experiment XI 249
f) Spezifitätsbegriff des Art-Protoplasmas; Innen- und Außendruck; Ballonmechanismus 250
2. *Definition des Begriffes: „Leben“* 252

III. Die Spezies „Mensch“. Die Anthropogenese in Ontogenie und Phylogenie nach der Ballontheorie 253

Ontogenie. Eientwickelung 253
1. *Zur Keimblätterfrage* 253
2. *Der menschliche Embryo.* Intrauterine Mechanik. Relative Verkürzung der Längsachse der Frucht. Entstehung des Lendenknicks. *I. Beckenformierung* 256
3. *Extrauterine Mechanik und Statik;* Anpassung des Individuums an die Außenwelt. Experiment XII. Der erste Atemzug 259

Phylogenie 264
4. *Abrundung des hintern Rumpfendes und Ausweitung des Beckenrings zur juvenilen und männlichen Beckenform.* **Der männliche Beckentypus.** *II. Beckenformierung* 264
5. *Die Ausweitung des Ringes zur ausgewachsenen weiblichen Beckenform.* **Der weibliche Beckentypus.** ▽▷ Experiment XIII. *III. Beckenformierung* 271
6. *Die Topographie der Beckeneingeweide im Lichte des mathematischen Systems* . . . 279
a) Topographische und funktionelle Bezirke der ausgewachsenen männlichen Becken-Endform 280
b) Topographische und funktionelle Bezirke der ausgewachsenen weiblichen Becken-Endform 282

Seite

7. *Die physiologische und pathologische Funktion der Beckeneingeweide im Lichte der Physik* 284

8. *Das Konstruktionsprinzip der ganzen menschlichen Körperform* 292
   a) Tangentenkonstruktion 292
   b) Ballontheorie. — Projektion und Konstruktion des Kopfes. — Konstruktion und Proportion der Extremitäten 296
   c) Die *Anthropogenese* als Folge des Lendenknicks 301
   d) *Körperproportionen* und ihre innere Begründung 310
      α) Proportionen der Rumpfform . . . . } Konstruktions-Prinzip { 311
      β) Proportionen des Kopfes . . . . . } { 313
      γ) Konstruktion und Proportionierung der Extremitäten. Synthese der Gesamtkörperform 316
   e) *Statik und Lokomotion.* Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel 321

9. *Notwendige Übereinstimmung in der Folge der Kausalmomente der Formentwicklung in Ontogenese und Phylogenese* 328

10. *Die geistige Menschwerdung* 338

IV. Das Bauprinzip in den drei Naturreichen 340
   Formbildung und Formerhaltung. Dynamo-statische Gleichgewichtslage. Blattstellungsformel der Pflanze. Raumgittertheorie der Kristalle. Atomgewicht-Molekularkonstitution 340

V. Die Grundlagen der Vererbungsgesetze 358
   Der Stammbaum der mechanischen Korrelation. Die mechanische Stufenleiter der Formgestaltung 358

C. Zusammenfassung und Ausblick 367

ERSTER TEIL

DIE MATHEMATISCHE BEWEISFÜHRUNG.

KAUSALANALYSE UND SYNTHESE

DER MENSCHLICHEN BECKENFORM

BOSTON MED.
APR 30 1923
LIBRARY

Einleitung.

Die Frage nach der Herkunft aller Dinge, vor allem aus das Forschen nach dem Ursprung der Menschheit, ist so alt wie diese selber. Sie galt nicht nur, so lange überhaupt von einer Wissenschaft geredet werden kann, zu jeder Zeit als das hervorragendste Problem derselben — nein! diese Frage wurzelt von Anfang an tief in der Seele jedes Menschen. In Legenden umstrickter Hülle bildet sie das eiserne Gerippe eines jeden religiösen Bekenntnisses, den Sockel des Altars, auf dem die Menschheit der gedachten schöpferisch bildenden Kraft, dem Schöpfer des Weltalls, den gebührenden Dank darbringt. Dabei spielt der Prophet gewöhnlich die Vermittlerrolle zwischen dem gedachten Göttlichen und dem reell zutage tretenden Irdischen. Sein genealogischer Stammbaum wird in irgend einer Weise zurückgeführt bis an die Stufen des Herrscherthrones der urbildenden Kraft. Dadurch wird der göttliche Funke auf das Geschlecht der Erdgeborenen übertragen.

Daß die Rinde unseres Erdballes allmählich durch Erkalten der Erdmasse entstanden sei nach einem Vorgang, wie wir ihn am besten am Siedekessel einer Seifenfabrik uns vergegenwärtigen können, — daß diese Schlackenkruste durch Auflagerung von Sedimenten aus den kondensierten Niederschlägen der Atmosphäre verstärkt werden, das ist längst Gemeingut der Wissenschaft geworden. Der hergebrachten dualistischen Weltanschauung aber hat die naturwissenschaftliche Forschung die monistische gegenübergestellt. Die philosophischen Theorien einer natürlichen Schöpfungsgeschichte des Weltalls, die sich an die Namen KANT und LAPLACE knüpfen, hatten schon das Eine gemeinsam, daß sie das Werden der Himmelskörper, das Entstehen der „toten" Welt auf völlig mechanischem, also natürlichem Wege zu erklären versuchten, wobei ein jeder über- oder unnatürliche Vorgang, jedes Eingreifen einer übersinnlichen Macht als überflüssig erscheint.

Denselben monistischen Gedanken einer natürlichen Entwicklungsgeschichte weitergeführt und auf die gesamte Pflanzen- und Tierwelt unserer Erde übertragen zu haben, ist das unbestrittene Verdienst LAMARCKs geworden. Der Gedanke wurde gekrönt durch die Deszendenztheorie CHARLEs DARWINs und durch die Aufstellung des biogenetischen Grundgesetzes HAECKELs. Nach dieser monistischen Weltanschauung sind bekanntlich sämtliche Formen der organischen Welt — pflanzliche sowohl wie tierische, ausgestorbene, wie die noch heute lebenden — aus einem niedrigst organisierten Wesen hervorgegangen, dessen Nachkommen sich im Laufe der Zeit in verschiedentlicher Weise modifiziert haben.

Nach dem biogenetischen Grundgesetz durchläuft jedes Individuum in seiner Entwicklung in aller Kürze denselben Entwicklungsgang, den seine Art im Laufe der Zeit durchschritten hat.

Über die Frage aber, wie das erste Wesen entstanden sei, äußert sich DARWIN selbst noch folgendermaßen: „Ich nehme an, daß wahrscheinlich alle organischen Wesen, die jemals auf dieser Erde gelebt, von irgendeiner Urform abstammen, welcher das Leben zuerst vom Schöpfer eingehaucht worden ist." — So unbestritten das Verdienst DARWINs ist — in ihrem innersten Wesen wird seine Theorie inkonsequent, und insbesondere ist seiner Erklärungstheorie über die Differenzierung der Arten durch die natürliche Zuchtwahl allein, so bestrickend sie für den Laien auch sein mag, eine gewisse spekulative Tendenz im

Grunde nicht ganz abzusprechen. Ihr fehlt vor allem das strenge Gesetz, das — praemissis mutandis — mit zwingender Notwendigkeit neue Arten schaffen muß. Inkonsequent aber muß im Grunde die DARWINsche Lehre auch deshalb genannt werden, weil sie noch für die Entstehung der Stammesreihe und für ihre Fortentwicklung völlig verschiedene Erklärungsprinzipien gebraucht: eine übernatürliche dualistische für die Schaffung der Urform, eine natürliche monistische für ihre phylogenetische Weitergestaltung in dem Tier- und Pflanzenreich.

Trotzdem wird DARWIN heute vielfach, wenn nicht als Begründer, so doch als der Hauptrepräsentant der monistischen Weltanschauung hingestellt. — Aber sollte es wirklich nicht möglich sein, die Entstehung des ersten Lebewesens, das auf dem Erdball existierte, ohne Beiziehung einer überirdischen oder übersinnlichen Kraft — vorderhand wenigstens theoretisch zu erklären, bloß unter Zuhilfenahme jener einfachsten und unabänderlichen Kräfte, denen auch die „tote Masse" unterworfen ist. Die Annahme, daß das erste Lebewesen auf unserer Erdkugel nach ihrem Erkalten aus dem Weltall dahin abgesetzt worden sei, ist in hohem Maße unbefriedigend, indem sie die Urzeugung nur an einen andern Ort im Weltall hinverlegt. Da aber alle Anzeichen darauf hinweisen, daß das Leben auf der Erde erst von einer gewissen Aera der Entwicklung unseres Planeten ab auftritt, und da man experimentell nachweisen kann, daß die Möglichkeit einer Existenz jedes Lebens nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen vorhanden ist, so wäre für den Zeitpunkt der Urzeugung von vorneherein eine gewisse Abkühlungstemperatur der Erdrinde maßgebend. Aus demselben Grunde wäre weiterhin auch anzunehmen, daß das gesamte Leben auf der Erde erlischt, wenn einmal die Temperatur auf ihrer Oberfläche unter ein gewisses Niveau hinuntergeht. Das Leben ist also unter allen Umständen an gewisse äußere Bedingungen geknüpft.

Das Problem der Urzeugung zu lösen, theoretisch und praktisch, ist seit LAMARCKs und DARWINs Zeiten das Streben zahlreicher Forscher gewesen; ja auch ein GOETHE hatte nach diesem Ziele gejagt, als er den Urtypus der Form in der Tier- und Pflanzenwelt aufsuchte.

Die neuern Biologen haben dann versucht, der Frage rückläufig beizukommen, indem sie das Hauptaugenmerk auf die Zusammensetzung der Keimzellen und auf ihre Funktionen richteten.

Den umgekehrten Weg schlug indes der Chemiker ein, der bestrebt war, die Herstellung der organischen Substanz auf synthetischem Wege aus ihren Urstoffen zu ermöglichen. Die Synthese der organischen Substanz ist ihm auch mehrfach gelungen. Nicht gelungen ist es aber bis heute der Wissenschaft, dieser Substanz diejenigen Eigenschaften zu geben, die wir als „Leben" bezeichnen. Das Problem der Urzeugung blieb also dabei in Theorie und Praxis ungelöst, obgleich man auf allen Gebieten der Forschung immer mehr dem ersehnten Ziele näher rückte.

Aber gerade die Teilung der Naturwissenschaften und der medizinischen Fachwissenschaft in ungezählte Spezialgebiete, die wohl die Forschung in den einzelnen Disziplinen mächtig zu fördern imstande ist, dabei aber den Blick über das Ganze verlorengehen läßt, scheint mir für den Fortgang dieser Frage von ungünstigem Einfluß gewesen zu sein. Das Forschen nimmt dabei auf jedem Gebiete gar zu leicht eine zu spezialistische, oft gar auch spekulative Färbung an, und speziell auf medizinischem Gebiete tritt nur zu schnell der praktische Gedanke in den Vordergrund, gewiß nicht immer zum Vorteile der rein wissenschaftlichen Forschung.

In letzter Zeit wohl hat man aber da und dort schon mit großem Erfolg den Boden der Kausalforschung betreten. Man hat hier alle Erscheinungen der lebenden und toten

Welt durch die einfachsten Gesetze des Stoffes zu erklären und so eine Harmonie zwischen Form und Lebensgeschehen zu finden versucht. In der Medizin besonders kommt dieses Bestreben auf den Gebieten der Entwicklungsmechanik, der Zellphysiologie, der Serologie und der Autosekretion zum Ausdruck, während die Beckenforschung stets unter dem Drucke des praktischen Geburtshelfers arbeitend erklärlicherweise vorerst nur praktische Ziele verfolgte und ihre Blicke niemals über den Beckenraum hinaus erweitert hat.

1. Geschichtlicher Überblick über den gegenwärtigen Stand der Beckenforschung und Ausblick in andere Forschungsgebiete.

Zur Einleitung unserer Studie bedürfen wir wohl einer gedrängten, geschichtlichen Übersicht über den Gang der Beckenforschung und über den gegenwärtigen Stand derselben. Wir werden uns aber hierbei vielfach genötigt sehen, auch die Resultate der Forschungen, sowie die herrschenden Anschauungen auf verwandten und benachbarten Forschungsgebieten zu streifen. Dies betrifft vor allem Fragen aus der Entwicklungslehre, der Biologie, sowie der Statik und Mechanik des Menschen. Auch das sonst rein praktische Gebiet der Gynäkologie spielt in unsere Aufgabe hinüber. Selbstverständlich werden wir die Autoren und ihre Arbeiten nur insofern berücksichtigen, als ihre Erwähnung zur Begründung unserer neuen Anschauungen absolut unerläßlich ist.

Der erste, der die Stabilität des Beckenringes nachgewiesen hat (1542), war der Reformator der Anatomie selber: ANDREAS VESALIUS. Obschon sein Schüler ARANTIUS die fehlerhafte Beschaffenheit des Beckens als die Hauptursache schwerer Geburten beschuldigt hatte, blieb die Anatomie des pathologisch veränderten Beckens bis zur ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts unbekannt, wo sie sich erst durch Männer wie KILIAN, NÄGELE, HOHL zum großen Nutzen der Menschheit in wissenschaftlicher Weise entwickeln konnte. Die nennenswertesten Forscher aber aus dieser Schule sind wohl MICHAELIS und LITZMANN gewesen. LITZMANN umgrenzte (1861) an Hand einiger Typen charakteristisch geformter weiblicher Becken den Begriff des Normalen, Wohlgeformten und des pathologisch Veränderten in der Beckenform. Sodann charakterisierte er den weiblichen und den männlichen Beckentypus, indem er schon ihre Jugendformen sorgfältig ins Auge faßte und die Veränderungen konstatierte, wie sie sich in typischer Weise im spätern Wachstum daraus ergeben. Aus dem Vergleich sagittaler und querer Beckendurchmesser erkennt LITZMANN, daß die Jugendformen bei beiden Geschlechtern (Neugeborne bis zur Pubertät) nur wenig differieren, daß die Proportionen ihrer Durchmesser beim Knaben auch während der Pubertätszeit sich nur wenig ändern, während sie beim Mädchen vollkommen andere werden. „In die Breite wächst das Kreuzbein stärker beim weiblichen Geschlecht als beim männlichen, dagegen wächst das männliche mehr in die Länge." Der Autor forscht sodann eifrig nach den Gründen, welche die Veränderungen der Beckenform nach der Geburt bedingen und welche auch die Geschlechtsunterschiede am Becken hervorrufen könnten. Als Momente, welche die Gestaltung des Beckens bedingen, erkennt er: 1. Die ursprüngliche Anlage, 2. den Druck der Rumpflast, 3. die Resistenz der Beckenknochen und Knorpel, 4. den Zug und Druck der am Becken befestigten Muskeln. Er schreibt: „Als die wesentlichen Faktoren betrachten wir: die ursprüngliche und die durch spätere Reize veränderte Vegetationsenergie, das Maß der Blutzufuhr, die Beschaffenheit der Blutmischung und endlich die mechanische Einwirkung der Nachbargebilde oder äußern Potenzen, vermehrten abnormen Druck oder Zug, Verminderung oder Wegfall normalen Druckes oder Zuges. Es ist durchaus ungerechtfertigt, mit FICK die Knochen allein als das Bestimmte und die Weichteile allein als das

Bestimmende anzusehen; vielmehr bestimmen beide sich gegenseitig und beiden kommt eine gewisse Selbständigkeit der Entwicklung und des Wachstums zu." — Für die Entstehungsweise der Verschiedenheit in der Beckenentwicklung bei beiden Geschlechtern gibt LITZMANN zwei Momente an: „Das eine dieser Momente ist der Druck, den die vom Becken umschlossenen Organe bei ihrer zunehmenden Ausdehnung gegen die noch biegsame Hülle ausüben, der nisus omnium pelvis contentorum organorum (DE FREMERY)."

Dieser Druck kann nach LITZMANN teils auf direkt mechanische Weise durch Dehnung und Spannung, teils indirekt durch Reizung der betreffenden Partien und örtliche Steigerung der Ernährung und des Wachstums die Form der Beckenwandung verändern. So werden offenbar durch den Druck der mehr und mehr sich füllenden und bei jeder Inspiration abwärts gepreßten Gedärme die Darmbeinschaufeln auseinandergedrängt und allmählich flacher nach außen gegen die Horizontale gelegt. Bei dem weiblichen Geschlecht muß wegen der eigentümlichen Lagerung der Sexualorgane, namentlich durch das Wachstum der mehr und mehr in das kleine Becken herabsinkenden Gebärmutter, der Beckenring stärker gedehnt werden als beim männlichen. So erklärt sich das stärkere Wachstum der Kreuzbeinflügel in die Breite, das stärkere Wachstum der Schenkel des untern Beckenhalbringes und namentlich das der vordern Stücke der obern Seitenbogen, wovon zum Teil die größere Kapazität des weiblichen Beckens abhängt. Das zweite und wichtigste Moment ist der Druck der Rumpflast. Die Argumente, die der Autor für dieses zweite Moment ins Feld führt, sind trotzdem, daß er das Hauptgewicht darauf legt, weniger überzeugend; sie rühren zum Teil von der Betrachtung eines pathologisch veränderten Materiales (osteomalakisches und rachitisches Becken) her, wo das Druckmoment der Rumpflast auf das Kreuzbein und den Beckenring leichter nachzuweisen und zu erklären ist. Diesem letzteren Umstand mag es zum Teil zuzuschreiben sein, daß die spätere Beckenforschung von den Kausalmomenten, die LITZMANN anführt, nur noch das Belastungsmoment beibehielt. Die heutige Wissenschaft verwirft im allgemeinen den Gedanken, daß das Eingeweide einen bestimmenden Einfluß auf die Formgestaltung des Beckens haben könnte.

An einem sehr großen Material von Neugebornen und menschlichen Früchten aus allen Stadien der Fötalzeit hat 1876 FEHLING Untersuchungen durchgeführt über die ersten Beckenanlagen und die Entwicklung der Beckenform in utero. Ihm verdanken wir den Nachweis, daß schon im 4. Monat an der Frucht zwei deutliche Abbiegungen der Wirbelsäule zu erkennen sind, und zwar eine nach vorn konvexe zwischen Lenden- und Kreuzbeinteil und eine nach vorn konkave zwischen Kreuzbein- und Steißbeinteil. Nach spätern Autoren können diese Abbiegungen stärker oder schwächer sein, ja zuweilen auch fehlen. FEHLING konstatiert auch bei Neugebornen bereits kleinere Geschlechtsunterschiede in der Beckenform, sagt aber, es sei das nämlich die eine Anschauung, die er entschieden bekämpfen müsse, daß die stärkere Querspannung beim weiblichen Geschlecht durch den Druck der im kleinen Becken enthaltenen weiblichen Geschlechtsorgane entstehen soll. Nach den Untersuchungen von H. B. FREUND (Die Lageentwicklung der Beckenorgane) ist es gerade der Druck des unnachgiebigen Beckens, der den Uterus des neugebornen Mädchens zwingt, bei wechselnder Füllung der Nachbarorgane Lagewechsel, Drehung um die Querachse, Höhersteigen usw. einzugehen.

BALANDIN und BEDGE kommen zu dem übereinstimmenden Resultate, daß die erste entstehende Krümmung der Lendenwirbelsäule Folge sei davon, daß das Kind, wenn es lernt zu stehen, seinen Schwerpunkt über die Unterstützungsfläche verlegen und also die Wirbelsäule vorwärts krümmen muß; diese biege sich hierbei um das Promontorium als festen Punkt. In bezug auf die individuellen Variationen im Grenzabschnitt zwischen Lenden-

wirbelsäule und Kreuzbein sagt H. BLUNTSCHLI: „Diese Grenze ist beim Menschen durch eine scharfe Knickung charakterisiert, das sog. Promontorium (Vorberg). Seine Ausbildung hängt mit dem Erwerb einer aufrechten Körperstellung zusammen; er fehlt bei allen niedern Primaten. Auch bei den Menschenaffen, die eines halbaufrechten Ganges fähig sind, ist er nur in sehr geringem Grade entwickelt. Bei menschlichen Neugebornen findet man höchstens eine Andeutung von ihm und erst in den ersten Lebensjahren stellt er sich mit dem Beginn der aufrechten Körperhaltung allmählich ausgesprochener ein."

Dieses Promontorium, seine Form und vor allem seine Entfernung vom Symphysenrand, die Conjugata vera, mußten sachgemäß in höchstem Grade das Interesse der Geburtshelfer in Anspruch nehmen. Als eines der vornehmsten Probleme der praktischen Medizin mußte es gelten, die Proportionen, bzw. die Verhältniszahlen zwischen dem knöchernen Austrittskanal und der werdenden Frucht, sowie die daraus resultierende prognostische Beurteilung für die Geburt schon durch geeignete Untersuchungsmethoden an der Mutter im voraus bestimmen zu können. Unzählig sind die Beckenserien, geschweige denn die einzelnen Becken selber, an denen die verschiedensten Maße genommen werden, nur um festzustellen, was man unter einem „normalen", was unter einem „verengten" oder sonst pathologisch veränderten Becken zu verstehen habe. Dabei wurden Beckenserien, die nicht wenigstens mehrere Dutzende von Exemplaren umfaßten, als zu einer praktischen Wertschätzung unzureichend der Verachtung preisgegeben. Bei all diesen praktischen Untersuchungen kamen in erster Linie die Größenverhältnisse der „geraden" und der „queren" Beckendurchmesser in Frage. Nach rein praktisch durchführbaren Gesichtspunkten wird heute die Beckenmessung vorgenommen. Die Wahl der gemessenen Linien muß daher eine willkürliche genannt werden, obleich sie mit der Zeit konventionell vereinbart worden ist.

Die Hauptrolle bei diesen Beckenuntersuchungen fiel aus verschiedenen praktischen Gründen dem geraden Durchmesser des Beckeneinganges, der Conjugata vera, zu. Des weiteren wurde diese Linie auch dazu benutzt, um die Lage der Beckeneingangsebene zur Horizontalen und damit die Stellung des Beckens im aufrechten Gange zu bestimmen. Aber schon sehr früh hat der Anatom HERMANN v. MEYER darauf aufmerksam gemacht, daß die Lage gerade dieser Ebene eine der inkonstantesten am Becken sei; er setzte daher an ihre Stelle die in ihrer Lage konstantere, tiefer liegende Normal-Conjugata (Mitte der Vorderfläche des 3. Kreuzbeinwirbels — oberer Rand der Symph. oss. pubis.), deren Neigung zum Horizont er mit genügender Genauigkeit zu 30° angab. Eine weitere Angabe für die Orientierung des Beckens im aufrechten Stehen finden wir bei HERMANN v. MEYER. Er schreibt unmittelbar folgend: „Um dem Becken ohne Beihilfe der Normal-Conjugata eine wenigstens annähernd richtige Stellung zu geben, ist das beste Mittel dies, daß man die beiden Spinae anter. sup. der Hüftbeine und die beiden Tubercula pubis in eine senkrechte Ebene stellt, während die Tubera ischii auf der Tischplatte aufruhen."

Wir weisen auf diese letztere Orientierungsangabe H. MEYERs mit besonderem Nachdruck hin, weil wir sie zum Ausgangspunkt unserer mathematischen Untersuchungen machen. Sie ist von diesem ersten Autor auf Grund ausgedehnter Untersuchungen und genauer Beobachtungen an lebendem und totem Menschenmaterial aufgestellt; sie gilt auch in gleicher Weise für das männliche wie für das weibliche Geschlecht und ist, da sie das räumliche Zusammenbleiben bestimmter Eigenschaften konstatiert, das immer wieder nachgewiesen werden kann, im Sinne W. OSTWALDs als ein „Naturgesetz" aufzufassen. Was LITZMANN mit seiner Beckenforschung für die Geburtshilfe, das ist H. MEYER auf anatomischem Gebiet in bezug auf Statik und Mechanik geworden. Der Nachweis der Architektur der Knochenspongiosa nach vollkommenen dynamischen Systemen in der Rich-

tung von Druck- und Zugkurven ist bekanntlich sein Verdienst. Seine Anschauungen über den Bau des menschlichen Körpers als Ganzes (1873) haben reformierend und bahnbrechend gewirkt; seine Studien auf dem Gebiete der anatomischen Statik und Mechanik sind von spätern Anatomen wie RAUBER, FICK und in allerjüngster Zeit von H. STRASSER weitergeführt und ausgebaut worden. Sie haben mit der frühern ausschließlichen Systematik des anatomischen Unterrichts gebrochen, wobei das Skelett als eine Art Kleiderständer für den menschlichen Körper hingestellt worden war und haben dafür als das Konstruktionsprinzip der Rumpfwand mit MEYER den „elastisch muskulösen Schlauch" mit eingeschalteten Skelettstückchen gesetzt und diesen Stamm auch verglichen mit einem länglichem Ballon halbstarren Systems (STRASSER, 1913), an dem man einen Druckbaum (Wirbelsäule) und eine hängende Längsgurte (Ventralmuskulatur) zu unterscheiden hat. (Ballontheorie.)

Eine solche vereinfachende Vorstellung läßt also den Beckenring wie den Brustkorb mit dem Brustbein als partielle, ringförmige, knöcherne Verstärkungen der Stammeswand erscheinen, welche an dem ebenfalls versteifenden Druckbaum der Wirbelsäule befestigt sind. Relationen zwischen Form der Rumpfblase und Funktion der eingelagerten Eingeweide bzw. der Kinenergetik ihres Inhaltes wurden von mir zum erstenmal 1896 festgestellt.

Doch kehren wir in aller Kürze noch einmal zur eigentlichen Beckenforschung zurück! — Die sorgfältigen und ausgedehnten Untersuchungen von LITZMANN und FEHLING über die Beckenform und ihre Entwicklung hatten die Alters- und Geschlechtsunterschiede so klar gelegt, daß wir die spätern, zahlreichen Untersuchungen auf diesem Gebiete füglich übergehen können. Weniger einleuchtend ist darin die Darlegung der Kausalmomente, welche den Formveränderungen des menschlichen Beckens nach der Geburt zugrunde liegen müssen. Und doch sind solche Veränderungen innerhalb der Grenzen normaler Zulässigkeit typisch und lassen sich voraussehen. LITZMANN schon unterscheidet drei Typen der Beckenform: 1. die Jugendform, die beiden Geschlechtern gemeinsam ist, 2. die ausgebildete männliche und 3. die ausgebildete weibliche Form. Aber wir fragen uns: Warum beobachten wir gerade bei der Spezies homo an der Beckenform so ausgeprägte Geschlechtstypen nach der Pubertätszeit, während ihrer Jugendform solche Geschlechtsunterschiede noch gänzlich mangeln? Auf diese Frage haben wir bis anhin noch keine befriedigende Antwort bekommen. Die neuen Arbeiten über das menschliche Becken haben entweder spezielle entwicklungsgeschichtliche Fragen berührt (WALDEYER) oder sich mehr auf dem praktischen Gebiet der Geburtshilfe bewegt (JACKS, MARTIN und viele andere). Für unsere Zwecke kommen sie weniger in Betracht; es genügt daher, sie kurz gestreift zu haben.

Bis anhin scheint also das Studium der Beckenform für die praktischen Bedürfnisse des Geburtshelfers in genügender Weise gefördert und auch zu einem gewissen Abschlusse gekommen zu sein. Und wenn man auch bis heute noch nicht mit einem Worte sagen konnte, was man unter einem „normalen", was unter einem „pathologisch verengten" Becken zu verstehen hat, so herrschte doch unter den Geburtshelfern vollkommene Einstimmigkeit darüber, welche Korrelationswerte an den Beckendurchmessern für die Praxis noch als Anzeichen eines relativ normalen oder eines pathologisch mißgestalteten Beckens zu betrachten sind.

Eine gleiche Übereinstimmung der Meinungen herrscht weit weniger auf jenem Gebiete der praktischen Medizin, das der Geburtshilfe am nächsten steht, indem es sich wie diese nur um die Verhältnisse beim weiblichen Geschlecht kümmert: in der Gynäkologie. Es ist dieser Umstand um so auffälliger, als gerade dieser Zweig der Wissenschaft einer der jüngsten ist und daher weniger Gefahr lief, auf althergebrachten Traditionen fußen zu müssen. Beide Disziplinen, Geburtshilfe und Gynäkologie, stützen sich ja auf die Kenntnis

der Beckenorgane (Lage und Funktion); jedoch hat die letztere für das Studium der Beckenform und ihre Entstehung selber, unbegreiflicherweise bis jetzt nur wenig Interesse bekundet.

Seitdem BERNHARD S. SCHULTZE (1873) als Erster darauf hingewiesen, daß dem Gebärorgan in situ normalerweise eine Anteflexionsstellung mit leichter Abknickung hinter dem Corpus uteri zukommt, während es aus dem Körper entfernt, als schlaffer Muskelschlauch daliegt, seither haben ungezählte Forscher sich bemüht, dieses Rätsel zu lösen. Als Grund dieser seltsamen Tatsache bezeichnet SCHULTZE den „intraabdominalen Druck", der in seinen respiratorischen Schwankungen „die beiden Hebelarme des Uterus", das Corpus und die Vaginalportion je in entgegengesetztem Sinne bewegt.

Es würde hier zu weit führen, im Widerstreit der Meinungen alle Anschauungen zu erwähnen, die aufgetaucht sind, um die normale Lage des Uterus zu erklären. Ich verweise diesbezüglich auf die Literaturangaben von OTTO KÜSTNER in VEITs Handbuch der Gynäkologie. In sehr bezeichnender Weise geben auch die Verhandlungen der Royal Society of Medicine (Juni 1908) ein Bild von den verschiedenen Erklärungsweisen und -möglichkeiten, die zur Lösung dieser Frage herangezogen worden sind. Hier ein kurzer Auszug aus der Diskussion über das Thema: Stützvorrichtungen der weiblichen Beckenorgane. R. H. PARAMORE betont die Notwendigkeit der Beobachtungen am Lebenden zur Beurteilung dieser Verhältnisse und weist auf die Bedeutung des intraabdominalen Druckes hin; PATERSON (Liverpool) bespricht sämtliche zum Aufbau des Beckenbodens gehörigen Teile: Die Symphysis pubis, Ligg. triangularia, Compressor urethrae, die Perinealgebilde, Levatores ani, die äußern Sphinkteren und die ano-coccygogonalen Strukturen als Faktoren zur Stütze der weiblichen innern Organe. W. E. FOTHERGILL (Manchester) nimmt an, daß die Beckenorgane normalerweise in ihrer Stellung erhalten werden durch die bindegewebigen Gebilde, welche zwischen ihnen nach den Beckenwandungen hinziehen; von größter Bedeutung dabei seien die perivaskulären Umkleidungen. ARTHUR KEITH hält die Wirkung der Muskulatur im Beckeninnern für den Hauptfaktor. HASTINGS TWEEDY weist hin auf die kräftigen Ligamente an den Seitenbefestigungen; wenn diese beschädigt sind, senkt sich der Uterus trotz Intaktbleibens aller anderen Verbindungen. BRIGGS bezeichnet die Wiederherstellung der Levatores ani und deren Faszien durch ausgiebige versenkte Nähte als das Hauptziel des Operierens. MACNAUGHTON JONES erkennt eine Kombination von Faktoren als belangreich an: Wohl das wichtigste Moment aber seien die Beckenfaszie und der Levator ani. INGLES PARSONS sodann nennt als Hauptfaktor das vom Uterus im Verein mit elastischen Fasern und Muskelzügen ausgehende Bindegewebe, welches, wie HENRY SAVAYL es beschrieben hat, in verschiedenen Richtungen nach der Beckenwand ausstrahlt.

Welch' ein Konglomerat von Ansichten und Auffassungen! — Und doch birgt jede gewiß ein Goldkorn der Wahrheit in sich. Aber gerade die Vielseitigkeit der Anschauungen in der für gynäkologische Zwecke praktisch so wichtigen Frage über die Lage- und Bewegungsverhältnisse des innern weiblichen Genitalapparates mag uns als Fingerzeig dienen, daß solche Probleme kaum wohl vom einseitigen Standpunkt des Praktikers aus gelöst werden können.

Ersprießlicher gestaltet sich dagegen auch für unsere Studie die Forschung auf dem Gebiete der Vererbungs- nnd Entwicklungslehre, mit denen auch die neuesten Disziplinen, die Serologie und Immunitätslehre stets in direkter Fühlung geblieben sind.

Wir haben bereits oben zweier wertvoller Arbeiten gedacht, welche sich speziell mit der Entwicklung der Beckenform an menschlichen Früchten befaßten und schon bereits auch Rücksicht nahmen auf die parallel gehende Entwicklung der eigentlichen Beckenorgane. Die Kenntnis des ersten Aufbaues des tierischen und menschlichen Körpers von der Be-

fruchtung des Eies ab bis zur Differenzierung der einzelnen Gewebe und Organe, ist in den letzten Jahrzehnten mächtig erweitert und gefördert worden, dank der unermüdlichen, einsichtigen und höchst mühevollen Arbeit zahlreicher Forscher, von JEAN LAMARCK an (CH. DARWIN, H. SPENCER) bis auf unsere Zeit. Sie gaben uns nicht nur neue Einblicke in die Vererbungs- und Formgestaltungslehre, sondern ebenso auch in das enorm ausgedehnte Gebiet der Biologie im weitesten Sinne. WALDEYER verdanken wir insbesondere das sorgfältige Studium der Entwicklung der menschlichen Beckenorgane. Hervorheben möchte ich hier noch das biogenetische Grundgesetz E. HÄCKELs, nach welchem jedes Individuum in seiner Entwicklung (Ontogenese) in abgekürztem Gang die Stadien durchläuft, welche seine Art im Laufe der Zeit bis zu ihrer Vervollkommnung durchschritten hat (Phylogenese). Ontogenese und Phylogenese stehen also in Korrelation. Erwähnen will ich auch noch das ontogenetische Grundgesetz O. HERTWIGs, wonach sämtliche Artmerkmale des spätern Individuums bereits im befruchteten Ei enthalten sein sollen. Die neuen Forschungen von P. KAMMERER, MORGAN, W. OSTWALD, GAULE u. a. suchen dem Problem hauptsächlich von der chemischen Seite aus beizukommen und haben ähnliche Resultate, wie die Serologen (P. EHRLICH, ABDERHALDEN). Von enormem Vorteil scheint hier das einträchtige Zusammenarbeiten auf verschiedenen Versuchs- und Forschungsgebieten gewesen zu sein.

Einmal sind es die unermüdlichen und sorgfältigen Untersuchungen gewesen über die chemische Zusammensetzung und die biologische Funktion der Zelle, vor allem aus die der pflanzlichen und tierischen Fortpflanzungsorgane. Sodann aber mußten die Serologie- und die Immunitätsforschung, da die einzelne Zelle in ihren Stoffwechselvorgängen naturgemäß nur mit Spuren von Material zu arbeiten vermag, das flüssige Extrakt einer größern Gruppe gleicharbeitender Zellen (Sekrete, specif. Sera), sowie dasjenige des ganzen Körpers verschiedener Individuen und Arten (Blutserum) vergleichend ins Auge fassen. So entstanden die neuen Vorstellungen über arteigenes und artfremdes, bluteigenes und blutfremdes Material, indem in der Forschung großzügige Kulissenmalerei und feine Miniaturmalerei gleichzeitig zur Anwendung kamen. Von besonderer Bedeutung für die Kenntnis der Funktion der Zelle wie des ganzen Organismus ist die wichtige Entdeckung EMIL FISCHERs geworden, wonach Zellen mit besonderer Funktion ihre spezifisch gebauten Zellbestandteile und insbesondere in spezifischen Fermenten das Mittel besitzen, nur auf chemisch bestimmte Nahrung abgepaßt zu sein, ähnlich wie ein Schlüssel mechanisch nur ein bestimmtes Schloß zu erschließen vermag.

Auf der andern Seite wurde von den Entwicklungsmechanisten das mechanische Moment als der meist bestimmende Faktor für die Formgestaltung ins Feld geführt (W. HIS, W. ROUX, JULIUS WOLLF, VERWORN), und es wurden auch die neuesten Theorien der allgemeinen Natur- und Energielehre, wie die Ionentheorie von G. und A. v. ZSCHERMAK, H. FREUNDLICH, W. OSTWALD, HÖBER, auf die organische, plasmatische Substanz angewandt.

Sehr wichtige Aufschlüsse über den Zusammenhang von Form und Funktion, sowie andere biologische Vorgänge und Korrelationen erhalten wir auch aus den Studien über die „innere Sekretion“ und Transplantationslehre, die in kurzer Zeit eine enorme Literatur gezeigt haben. (JUL. TANDLER und SIEGFRIED GROSZ.)

Nachdem schon FERDINAND COHN den Fundamentalsatz aufgestellt hatte, daß das Protoplasma der Pflanzen und die Sarkode der Tiere identisch seien, spricht man heute nur noch von einem Protoplasma der Organismen überhaupt und CARL MEZ definiert den Unterschied zwischen pflanzlichen und tierischen Organismen kurzerhand dahin: „Keine

Pflanze frißt; die unendliche Überzahl der Tiere frißt, stülpt sich über die Nahrung." Nach RHUMBLER und LÖB beruht dieser Freßakt bei der Amöbe z. B. auf Oberflächenspannung und Adhäsionskraft.

Das Protoplasma selber besteht aus nukleoiden, plasmatischen und wässerig serösen Eiweiß-Substanzen, denen verschiedenartige chemische Zusammensetzungen zukommen.

In kolloidalem Zustande ist für gewöhnlich das polimere Eiweißmolekül durch Membranen nicht diffundierbar (Graham), kann aber in diffundierbare Modifikationen (Peptone) übergeführt werden. In getrocknetem Zustande haben die Eiweißkörper die Eigenschaft, durch Aufnahme großer Mengen von Wasser aufzuquellen. Gewisse im Protoplasma vorkommende Eiweißkörper (Myelin und myogene Substanzen) sind nach O. LEHMANN als flüssige Kristalle zu betrachten. Als Ursache für den Erstarrungsprozeß dieser Körper nimmt der Autor eine besondere „molekuläre" Richtkraft an. Nach VERWORN beruhen amöboide Bewegung, Muskel- und Flimmerbewegung auf abwechselnder Kontraktion und Expansion der lebenden Substanz durch gegenseitige Umlagerung ihrer Teilchen, wobei Doppelbrechung und Kontraktilität gleichzeitig auftritt. (TH. ENGELMANN.)

Nach der elektrochemischen Seite hin scheinen die Plasmakolloide, speziell die Eiweißkörper, nicht bloß als Binder von Ionen, d. h. freie, elektrische Ladung aufweisende Atome oder Atomgruppen zu fungieren, sondern auch als Selbstproduzenten von z. T. komplexen Ionen. Keinesfalls sind auch die Wanderungsbedingungen für die Ionen im Zellinnern in der Peri- oder Interzellularflüssigkeit einfach gleich zu setzen. (ARMIN v. TSCHERMAK.)

Diese kurzen Exkursionen in die verschiedenen Werkstätten geistigen Schaffens sind unumgänglich notwendig gewesen, um einen flüchtigen Einblick in den Stand der Resultate auf diesen Gebieten der Forschung zu gewinnen. Die Kenntnis der Molekularphysik der Körper, der Geheimnisse ihres chemischen Aufbaues ist in letzter Zeit enorm gefördert worden. Sie ist aber auch durchaus notwendig, wenn wir die Lebenserscheinungen am einzelligen Organismus, aber in gleichem Maße auch am mehrzelligen, verstehen lernen sollen.

In seinen Studien über „Die physikalische Chemie der Zelle" hat RUDOLF HÖBER (3. Aufl. W. Engelmann 1911) die osmotischen Eigenschaften ganz besonders hervorgehoben und mit Recht den Kolloidallösungen seine spezielle Aufmerksamkeit geschenkt. An Hand der von hervorragendsten Chemikern (VAN T'HOFF u. a.) aufgestellten Formeln studiert er die Fermentsynthese und das Problem des dynamischen Gleichgewichts, das er als das Fundamentalproblem der Lehre von den Lebensprozessen bezeichnet.

Treten wir auf den Boden der vergleichenden Anatomie, so müssen wir, zurückgreifend bis in die Uranfänge des organischen Lebens, auch die Statik und Mechanik des einzelligen Organismus und der einzelnen Zelle ins Auge fassen, wie sie in so vorzüglicher Weise von VERWORN (1895) studiert worden ist. Sein Grundriß von der Lehre vom Leben verfolgt das Ziel, die elementaren Ursachen der Lebenserscheinungen an der Zelle aufzusuchen. Nach diesem Autor können an der lebendigen Substanz sieben verschiedene Bewegungsmodi unterschieden werden: a) Passive Bewegungen, b) Bewegungen durch Quellung der Zellwände, c) Bewegungen durch Veränderung des Zellturgos, d) Bewegungen durch Veränderung des spezifischen Gewichts der Zelle, e) Bewegungen durch Sekretion von Seiten der Zelle, f) Bewegung durch Kontraktion und Expansion des Zellkörpers.

VERWORN beantwortet (1905) die beiden Fragen, 1. ob den Lebensprozessen die gleichen Prinzipien zugrunde liegen, wie den Vorgängen in der leblosen Natur und 2. ob die psychischen Vorgänge auf die gleichen Prinzipien zurückzuführen seien wie die körperlichen, in durchaus bejahendem Sinne. (H. DRIESCH.)

Das mechano-statische Problem der Körpergestaltung in spätern Stadien der Körperentwicklung zu lösen, blieb den Anatomen überlassen. Den bereits genannten Namen wären hier C. GEGENBAUER, M. FÜRBRINGER und viele andere an die Seite zu stellen. Hervorzuheben ist dabei besonders das kleine Werk von HIS: „Unsere Körperform", worin die Formgestaltung des Gehirns in klassischer Weise auf Faltenbildung und Stauchung infolge vermehrten Druckes in der Richtung der Längsachse zurückgeführt wird. „Nicht ungleiches Wachstum, sondern ungleiche Widerstände."

Untersuchungen über die Lage des Schwerpunktes im menschlichen Körper verdanken wir, wenn man von BORELLI absehen will, besonders den Gebrüdern W. und E. WEBER und H. MEYER. Nach letzterem liegt der Gesamtschwerpunkt beim aufrechten „militärischen" Stehen in dem zweiten Kreuzbeinwirbel oder unmittelbar über diesem im Canalis sacralis. Die Schwerlinie, die von diesem Punkte ausgeht, fand er 5 cm hinter der Hüftachse und 3 cm vor der Knöchelachse hinabgehend. Doch weist der Autor mit Nachdruck darauf hin, daß der menschliche Körper als ein Komplex einer „gewissen Menge einzelner, beweglich untereinander verbundener Massen" einen fixen Schwerpunkt nicht haben kann, wie dies beispielsweise bei einer Statue der Fall ist. [„Ständertheorie".] Wir haben auch die von demselben Autor (MEYER) zuerst gehabte Vorstellung von der elastischen Rumpfblase bereits erwähnt, nach welcher der Beckenring beim Menschen so gut wie beim Vierfüßler eine knöcherne Einlage in die Wandung dieser Blase darstellt.

STRASSER sagt: „Der Vergleich ist ein unentbehrliches Hilfsmittel zur wissenschaftlichen Erkenntnis auf dem Gebiete der maschinellen Einrichtungen der Organismen. Die Konstruktion der Körpermaschinerie des Menschen wird nicht annähernd vollkommen erkannt werden, ohne den Ausblick auf die verwandten und abweichenden Verhältnisse bei den Tieren.

Es gelten nun ‚unter der Annahme, daß der Inhalt der Bauchhöhle allseitig verschieblich sei, für den Druck desselben gegen die Bauchwand annähernd die hydrostatischen Gesetze'. Zu unterscheiden ist dabei: I. der vom Gewicht abhängige Belastungsdruck, und der hiervon unabhängige, generelle, abdominale Druck, der im höchsten Punkt der geschlossenen Bauchhöhle vorhanden ist und = 0 oder aber größer oder kleiner sein kann als der Atmosphärendruck.

Das Gewicht der Baucheingeweide lastet zum größten Teil auf der ventralen Becken- und Bauchwand; ein großer Teil dieser Last wird aber durch Vermittlung der queren Gurtung von der Lenden- und hintern Brustwirbelsäule getragen."

Auf dem Gebiete der Anthropologie gilt es schon längst als eine gesicherte Annahme, daß sich in der Menschwerdung die Aufrichtung des Stammes nur allmählich vollzogen habe (L. WILSER). (Sichere Beweise hierfür haben meines Wissens gefehlt.) Auch 1914 noch schreibt EUGEN FISCHER über die Ursache, Art und Weise der Menschwerdung: „Man darf als sicher annehmen, daß zuerst der ‚Fuß' geworden sein muß. Warum die zum Menschen führende Form, statt aus der halbaufrechten Stellung sich niederzusenken, umgekehrt sich vollends aufrichtete, wissen wir nicht."

Ebenso allgemein anerkannt ist der Standpunkt von der monophyletischen Abstammung der Menschen (A. BASTIAN, KLAATSCH). Gegen ein polyphyletisches Entstehen der Menschheit sprechen eine Anzahl nur dem Menschen zukommende Merkmale, die Scham- und Achselbehaarung, das Fehlen der Sinneshaare (Spürhaare), die Form der Geschlechtsorgane, der freilich auch beim Affen angedeutete Typus der Menstruation, das Lippenrot, die Monokotyledonie (H. BLUNTSCHLI, PAUL BARTELS).

Von den zahlreichen Problemen, welche Anthropologie und Ethnologie zu lösen bestrebt sind, interessieren uns hauptsächlich drei: I. Der gegenwärtige Stand der Methodik

zur Darstellung und Berechnung der Form. II. Die Frage, wie weit wir in der Kenntnis von den Proportionen der Gesamtkörperform und insbesondere derjenigen am Stamme gelangt sind? III. Was wissen wir über die Entstehung der menschlichen Körperform und ihre Ursache? Nehmen wir den dritten Punkt gleich voraus!

Außer der bereits erwähnten Mutmaßung, daß sich die Aufrichtung der Rumpfachse nur allmählich vollzogen, habe ich in der Literatur wenig gefunden. Die Art und Weise, wie STRASSER (Fig. 108) das Stammskelett des Menschen demjenigen des Vierfüßlers gegenüberstellt, ist insofern unbefriedigend, als sie den Tierrumpf in einer unnatürlichen Lage wiedergibt und keine Vorstellungen aufkommen läßt, wie und warum die Horizontallage der Rumpfblase der Vierfüßler sich mit der Vertikalstellung derselben beim Menschen vertauscht.

Was im weitern die Ergründung von bestehenden Korrelationen an der menschlichen Körperform anbelangt, so können die ersten Versuche bis ins klassische Altertum zurückverlegt werden. Sie geschahen in dem Bestreben, für die künstlerische Wiedergabe der Form gewisse Gesetze zu haben (LEONARDO DA VINCI, MICHELANGELO, A. DÜRER, HOLBEIN).

Spätere Studien mehr spekulativer Art suchten den Aufbau der menschlichen Körperform auf ein morphologisch-rhythmisches Grundgesetz zurückzuführen (WINECKEN), das sich auf arithmetische und geometrische Reihen und Funktionen stützt. Aber dieses Grundgesetz wurde nicht dem Körper selbst entnommen, sondern nachträglich an die Körperform angelegt, nachdem es zuvor aus rein mathematischen Deduktionen heraus abgeleitet worden war. Für die Zwecke der bildenden Kunst mag diese Art und Weise genügen, für die Wissenschaft ist sie unbrauchbar.

Die wissenschaftliche Forschung nahm sich verhältnismäßig spät dieser hochwichtigen Frage an, und zwar geschah es zunächst in der Absicht, Differenzen in den Proportionen als ethnologische Rassenmerkmale verwenden zu können. Das Ergebnis dieser, an sehr großem Material durchgeführten Untersuchungen lag in den Errungenschaften, die BURMEISTER und RANKE ungefähr in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Die typische Entwicklung der Körperproportionen des Menschen ist bedingt durch die volle physiologische, bzw. mechanische Benutzung seiner Gliedmaßen.
2. Die Differenzen dieser Proportionen sind unter den verschiedenen Menschenrassen keineswegs größer, als sie zwischen den Individuen verschiedener Lebensweise bei ein und derselben Rasse gefunden werden.

Bei diesen Untersuchungen spielten noch die Proportionen in der Größe der Extremitäten unter sich und zur Gesamtlänge des Körpers die Hauptrolle, aber sie führten zu der weitern wichtigen Erkenntnis der Korrelationen zwischen „Funktion und Form“ (KEITH, H. BLUNTSCHLI, MOLLISON).

MOLLISON setzt (1910) in seinen Untersuchungen über die Körperproportionen der Primaten und Menschen die direkte Messung an Stelle der indirekten. Von der Tatsache ausgehend, daß nicht nur die Arten, sondern auch die Individuen einer Art verschieden groß sind, würde ein Vergleich der absoluten Maße nicht das geringste Interesse bieten. Das gegebene Vergleichsmaß für die wichtigsten Maße: die Extremitätenlänge, ist der Rumpf. Der Autor unterscheidet, nach den in ihnen vorherrschenden Typen der Lokomotion fünf Gruppen in folgendem phylogenetischem Zusammenhang: Die Gänger (Mensch) zweigen sich ab von den „Hängeler“, diese von dem gemeinsamen Ast der „Kletterer“ und „Läufer“,

der selbst wieder von den „Springern" abzweigt. Die zwölf Maß-Rubriken MOLLISONs fußen zehnmal auf Längen- und nur zweimal auf Breitenmaßen (größte Kristalbreite des Beckens und Schulterbreite), Tiefenwerte werden nicht berücksichtigt. MOLLISON faßt seine ausgedehnten Beobachtungen in folgende Sätze zusammen:

1. „Die Proportionen eines jeden Primaten erweisen eine Abhängigkeit von den beiden Faktoren: Funktion und Artverwandtschaft.
2. Die Veränderungen im Laufe der Ontogenese geben teils frühe, teils spätere Stadien der Phylogenie wieder, wobei sich die Folgen früherer oder späterer phylogenetischer Perioden in der Ontogenese gegenseitig überdecken und dadurch unkenntlich werden können. Daraus ergeben sich große Schwierigkeiten für die phylogenetische Deutung der ontogenetischen Erscheinungen. Es muß daher bei der Deutung der Proportionsverschiedenheiten große Vorsicht walten, damit wir nicht zu falschen Schlüssen gelangen."

Von höchstem Wert und Interesse für unsere Studien sind die Untersuchungen H. BLUNTSCHLIs (1910) über die individuellen Variationen im menschlichen Körperbau und ihre Beziehungen zur Stammesgeschichte. Danach sind drei Gruppen von Variationskomplexen zu unterscheiden:

1. Eine rein rückweisende, atavistische, 2. eine oszillatorische und 3. eine embryonal-adaptive Variation. „Die embryonal-adaptiven Varianten sind von großem Interesse insofern, als sie uns die Augen öffnen über die große Bedeutung, welche der Korrelation der Teile und vielleicht auch äußern Faktoren, die nicht im Keime selber liegen, in der Einzelentwicklung zukommt. Sie sind Illustrationen der von W. ROUX erschlossenen, ‚direkten, funktionellen Selbstgestaltung des Zweckmäßigen'."

Wir kommen zum Schluß unserer literarischen Übersicht auf den heutigen Stand der Methodik der anthropologischen Messungen zu sprechen und haben bereits der direkten Messung den Vorzug gegeben. Sie bedarf aber einer sehr genauen Markierung der Fixpunkte am Körper oder am Skelett. Zur Ermittlung des absoluten Längenmaßes des menschlichen Körpers wurde in herkömmlicher Weise der Mensch mit dem Rücken an die Meßlatte gestellt, wobei nach orthopädischem Grundsatze normalerweise Brust- und Kreuzbeinkonvexität der Wirbelsäule an die Vertikalebenen zu liegen kommen. Nähere Fixpunkte fehlen dabei.

Die speziell für die paläo-anthropologische Forschung hochwichtige Craniometrie hat nach P. BARTELS durch H. KLAATSCH, G. SCHWALBE, R. MARTIN, SARASIN u. a. in der Methodik wertvolle Verbesserungen erfahren. An Stelle des subjektiven Hilfsmittels, Schädelkurven miteinander zu vergleichen, hat SCHWALBE vorgeschlagen, die Form der Kurve dadurch objektiv zu bestimmen, daß man die Lage gewisser Punkte, die Größenverhältnisse gewisser Sehnen, die Neigungswinkel gewisser an bestimmte Punkte der Kurve gelegte Tangenten mißt. Dabei muß natürlich eine Ausgangsebene zugrunde gelegt sein, als welche eine zur Medianebene senkrechte, durch Glabellarpunkt und Hinterhauptprotuberanz (Inion) bzw. Spitze der Hinterhauptschuppe (Lambda) gelegte Ebene zu rechnen sich empfiehlt.

Soweit man auch die Literatur der somatologischen Forschung überblicken mag, überall herrscht heute der Drang, ein möglichst großes Untersuchungsmaterial zur Lösung eines gestellten Problems heranzuziehen. Je größer die Untersuchungsreihe, desto größer das Gewicht des erhaltenen Resultats! Das ist die Losung der heutigen wissenschaftlichen Forschung.

Dabei scheint man vergessen zu haben, daß man an Hand der größten Serie stets nur Mittelwerte erhält und daß, sofern es sich um Ermittlung genauer mathematischer Proportionen und Korrelationen handelt, mit solchen Durchschnittswerten nicht viel anzufangen ist. Ich möchte daher den Satz BLUNTSCHLIs unterstreichen: „Je mehr wir auf das Individuelle zurückgehen, um so mehr bleiben wir, wie dies die Absicht der naturwissenschaftlichen Forschung ist, bei der Wirklichkeit."

Und vor allem rufen wir uns beim Aufsuchen eines Typus den Satz unseres Altmeisters W. GOETHE (1807) ins Gedächtnis:

„Man hat bei dem Aufsuchen dieses Typus (Urtypus der Form) auf anatomischer Grundlage nicht nur auf das Nebeneinandersein der Teile zu sehen, sondern auch auf ihre Abhängigkeit und Wirkung." — „The law we seek, therefore must be the law of the continuous redistribution of matter and motion." (HERBERT SPENCER: First principles, Chapitre XI ens.).

2. *Über den Begriff „Kausalanalyse" im allgemeinen und der Kausalanalyse der menschlichen Beckenform im besondern.*

Der praktische Geburtshelfer wird bei seinen Beckenuntersuchungen in erster Linie Unregelmäßigkeiten in der Beckenbildung der Frau zu erkennen suchen, um den damit in Zusammenhang stehenden Störungen beim Geburtsakt rechtzeitig vorbeugen zu können. Es muß sich also seine Untersuchungsmethode derart gestalten, daß die vorliegende Beckenanomalie in vivo diagnostiziert werden kann. So spielen bei seinen Untersuchungen für den Praktiker naturgemäß die Längs- und Querdurchmesser des Beckenkanals die Hauptrolle. Da diese jedoch an der lebenden Frau schwierig genau direkt zu messen sind, so ist man in der Praxis darauf angewiesen, diese Maße auf indirektem Wege zu bestimmen. Dazu bedarf es eines großen Vergleichungsmaterials an Maßen, die zunächst aus zahlreichen Messungen am skelettierten Becken genommen werden. So kam man zu bestimmten Proportionswerten, und an der Hand derselben ließ sich in groben Zügen bestimmen, was unter einem „wohlgebauten, normalen" Becken, was unter einem pathologisch veränderten, zu verstehen sei. Unter stetiger Rücksichtnahme auf die ätiologischen Momente und die begleitenden Krankheitszustände stellten sich dann bestimmte Typen von Beckenanomalien heraus und man gelangte, hauptsächlich auf indirektem Wege dazu, auch an der lebenden Frau die vorliegende Form diagnostizieren zu können. Der Praktiker scheint mit dieser Art des Vorgehens auszukommen. Für den Anthropologen, Anatomen und Statiker dagegen kommen weitere Probleme in Frage.

Einmal ist die Ursache zu ergründen, warum gerade bei der Spezies homo unter den Vertebraten allein in der Beckengestaltung so weitgehende Geschlechtsunterschiede sich vorfinden, und zwar nur beim ausgewachsenen Individuum.

Sodann ist es auffallend, daß bei der menschlichen Frucht meist schon in utero eine Abknickung der Wirbelsäule vor (über) dem gebildeten Beckenring vorhanden ist (FEHLING), während wir in der ganzen Tierreihe einem solchen „Lendenknick" niemals begegnen.

Selbst unter den Primaten zeigt allein das Skelett des Gorilla zuweilen eine leichte Andeutung von Wirbelsäulenverkrümmung an genannter Stelle; auch beim Schimpansen ist sie leicht angedeutet.

Betreffen diese beiden Probleme hauptsächlich das Gebiet der Ontogenie, so bleibt uns noch ein weiteres übrig, das sich mehr in die Gebiete der Statik und Anthropogenese hinüberzieht.

In der Stufenreihe der Entwicklung wird bei den Quadrupeden die ganze Rumpfform vorn und hinten von je einer versteiften „Traggurte" (Brustkorb und Beckenring) umfaßt. Die Vögel haben bekanntlich keinen geschlossenen Beckenring. Diese Traggurte stellt, mechanistisch genommen, eine Verstärkung der Rumpfwand dar, an welche der eigentliche Stützapparat, die Beine, befestigt sind. Durch Wegfall der Stützfunktion der vordern Traggurte beim Menschen wird seine hintere Traggurte, der Beckenring mit den Beinen zum alleinigen Stützapparat.

Gehen wir ferner von folgenden Erwägungen aus!

Die Geschlechtsunterschiede an der menschlichen Beckenform sind in typischer Weise erst nach der Pubertätszeit des Individuums zu konstatieren, an der fötalen Form des menschlichen Beckens kennen wir ja nur einen einzigen Typus bei beiden Geschlechtern.

Aus dieser fötalen Form entwickelt sich beim Mädchen wie beim Knaben zunächst in gleicher Weise der juvenil männliche Typus, der beim Manne bis ins spätere Alter in seinen Grundzügen konstant erhalten bleibt, beim Weibe jedoch sich in typischer Weise nochmals umgestaltet.

Das weibliche Becken tritt also in gewissem Sinne in eine weitere Phase der Entwicklung ein, die dem männlichen Typus zeitlebens abgeht.

Im übrigen müssen wir durchaus daran festhalten, daß alle Formveränderungen in der organischen, wie in der anorganischen Natur nur das Resultat sein können einzeln oder in Gruppen zusammenwirkender Kräfte. So fällt jede prädestinierende, zweckbestimmende Erklärungsweise weg.

Wie im anorganischen, so ist im organischen Körper die Form in jedem Moment der Entwicklung als der Ausgleich innerer und äußerer Spannkräfte anzusehen, die für die Formbildung in der Wachstums- und Entwicklungsperiode des Individuums von enormer Bedeutung sind. Wir werden daher zu dem Schlusse geführt, daß man bei geeigneter Untersuchungsmethode imstande sein wird, zu jeder Zeit an jedem einzelnen Körperteil die Form in entsprechender Weise analysieren zu können. Durch Vergleich verschiedener Entwicklungsstadien einer Form vermögen wir Rückschlüsse zu ziehen auf die formbildende Kraft, ihre Stärke und Angriffsweise.

Greifen wir daher das menschliche Becken als das zweckmäßigste Objekt zu solchen Formuntersuchungen heraus!

Es sind also am menschlichen Becken in typischer Weise drei Stadien der Entwicklung zu erkennen: der fötale, der juvenile männlich-weibliche und der ausgewachsene weibliche Typus.

Auf das Zustandekommen dieser drei Typen wirken ein: differenzierte morphologische Anlage des Geschlechts und ein zeitliches Moment.

Der menschliche Beckengürtel muß ferner im Hinweis auf die besondere phylogenetische Stellung des Menschen in der Stammesreihe der Tierwelt als das wichtigste Objekt zur Lösung des statischen Problems in allererster Linie zum Experiment verwendet werden. Seine erhöhte Wichtigkeit speziell beim Menschen verdankt es seiner Eigenschaft als festes, in sich abgeschlossenes Ringgefüge, und hauptsächlich dadurch, daß dieser Ring hier zum alleinigen Stützapparat des Rumpfes geworden ist. Es ist auch seine Ringkonstruktion technisch leicht erfaßlich und zur Lösung statischer Fragen sehr geeignet.

Unter Kausalanalyse im allgemeinen versteht man die methodische Zerlegung eines reellen oder ideellen Stoffes zwecks Herausfindens und Zergliederns der einzelnen

Faktoren, die beim Aufbau dieses Stoffes tätig waren. Wenn immer möglich, berücksichtigt man dabei die zeitliche Reihenfolge ihres Eingreifens. Eine Kausalanalyse soll derart durchgeführt werden, daß möglichst lückenlos alle diejenigen Momente Berücksichtigung finden, die dabei in Frage gestellt werden.

Bei der Kausalanalyse einer Form muß vor allem darauf geachtet werden, daß daraus die Lagebeziehungen der einzelnen Punkte zueinander ersichtlich werden. Aus den erhaltenen Relationen ergibt sich nicht nur die Möglichkeit einer genauen Berechnung der Figur, sondern es soll sich daraus auch leicht eine synthetische Rekonstruktion der Form ableiten lassen. Wir sehen also, daß wir zwar durch die trigonometrische Darstellung wohl eine Analyse der Form erhalten, aber immer noch nicht die gewünschte Kausalanalyse. Um zu dieser zu gelangen, hat man sich mit den Eigenschaften des Materials zu befassen, an welchem wir die Form studieren. Jede Materie aber — die organische wie die anorganische — ist dem Gesetz der Schwere unterworfen. Auf die Schwerkraft und ihre Wirkung also hat man bei der Kausalanalyse der organischen Form ein ebenso großes Augenmerk zu richten, wie auf die Festigkeit der Materie, die der Schwerkraft Widerstand entgegensetzt.

*3. Über die Orientierung und Darstellungsmethode der Beckenform. Vertikalorientierung und Orthogonalprojektion.**)

Eine jede Form läßt sich nur dann richtig erkennen und kritisch beurteilen, wenn wir ihre Ausdehnug nach allen drei Dimensionen des Raumes hin übersehen und entweder direkt messen oder durch anderweitige mathematische Hilfsmittel berechnen können. Danach ist es wünschenswert, daß der Beobachter seinen Standpunkt dem Objekte gegenüber mehrfach wechseln kann, um die Ausdehnung desselben nach den verschiedenen Raumdimensionen hin überblicken zu können. Oder aber: Kleinere Gegenstände werden beliebig in der Hand des Beschauers gedreht und geben dann im allgemeinen für uns ein richtigeres Bild über die gegenseitigen Proportionen als größere, die von verschiedenen Seiten her besehen, ganz verschieden beurteilt werden. Immer also wird die Form relativ vom Standpunkte des Beschauers aus beurteilt.

Am unrichtigsten wohl erfaßt man beim bloßen Betrachten eine Form, die dem Beschauer eine große, schief gestellte und zum Teil wellig geformte Oberfläche zukehrt, wie dies beispielsweise bei der Seitenansicht eines skelettierten Beckens der Fall ist.

Die Grundform eines jeden Stoffes ist die Kugel mit drei gleichlangen senkrecht aufeinander stehenden Achsen. Solange die Kugel frei im Raume schwebt und nicht näher orientiert ist, sind alle drei Achsen unter sich gleichwertig und jeder beliebige Peripheriepunkt kann zum Ausgangspunkt des Orientierungssystems werden. Nicht so, sobald einmal die Kugel in Korrelation zu einem andern Körper, beispielsweise der Erde, gesetzt wird. Jetzt ergibt sich ein „Oben“ und „Unten“ der Kugel. Der tangierende Fußpunkt erhält Vorzugsbedeutung in der Orientierung der Form, ebenso auch die von ihm ausgehende Achse, die, durch den Erdmittelpunkt gehend und die beiden Pole der Kugel verbindend in der Darstellungsgeometrie als Vertikalachse konventionellerweise mit dem Zeichen z versehen wird. Noch ist die Lage der beiden andern darauf senkrecht stehenden Achsen (x und y) unbestimmt. Gewöhnlich wird die eine derselben auf den Beschauer zugeführt, der sich in Parallelstellung zur z-Achse denkend, mit seinem Auge „vor“ dem Kugelzentrum steht. Damit ist die Orientierung der Kugel gegeben; sie ist erst durch Korrelation mit andern

*) S. Archiv f. Anthropol. Bd. XIII, v. ARX. Die Bedeutung der Orthogonalprojektion usw.

Körpern möglich geworden (statische Orientierung); für das rein mathematische Verständnis der Form ist sie entbehrlich.

Der bildlichen Wiedergabe eines Gegenstandes, d. h. der Darstellung seiner Form auf einer beliebigen Fläche, hat daher, sofern die statischen Verhältnisse mitberücksichtigt werden sollen, eine genaue Orientierung im Raume vorauszugehen. Wir müssen den Körper in Verbindung mit seiner Unterlage, seiner Umgebung darstellen, aus welcher die Richtung der Schwergewichtslinie oder der z-Achse sich ergibt. Diese letztere muß also aus dem Orientierungssystem ersichtlich sein.

Aber die bildliche Darstellung der Form bezweckt meist nicht nur eine möglichst genaue Wiedergabe des optischen Eindruckes, den der Gegenstand auf unser Auge ausübt — für technische Zwecke ist es viel wichtiger, die genauen Proportionsverhältnisse der Form richtig darzustellen, um sie so geometrisch berechnen zu können. So ist die darstellende Geometrie zu einer wichtigen Hilfswissenschaft des Technikers geworden. Sie auch für die tierische und menschliche Körperform in Anwendung zu bringen, würde gewiß von entschiedenem Vorteile sein.

Das erschien zunächst als unmöglich, da ja der animale Körper seine Form und Stellung beständig wechselt. Indes hat jedes Tier eine gewisse Ruhestellung, welcher die innere wie die äußere Konstruktion seines Körpers entspricht, so daß unter Aufwand eines Minimums von innern Kräften der Körper in statischem Gleichgewicht ruht. Für jedes Individuum diese Ruhestellung herauszufinden, hält nicht so schwer, wie es auf den ersten Blick erscheinen möchte.

Uns interessiert hier fürs erste nur die Orientierung der *menschlichen* Körperform. Ihre Ruhestellung ist außer der Liegestellung zweifelsohne in der sog. „aufrechten" Körperhaltung gegeben.

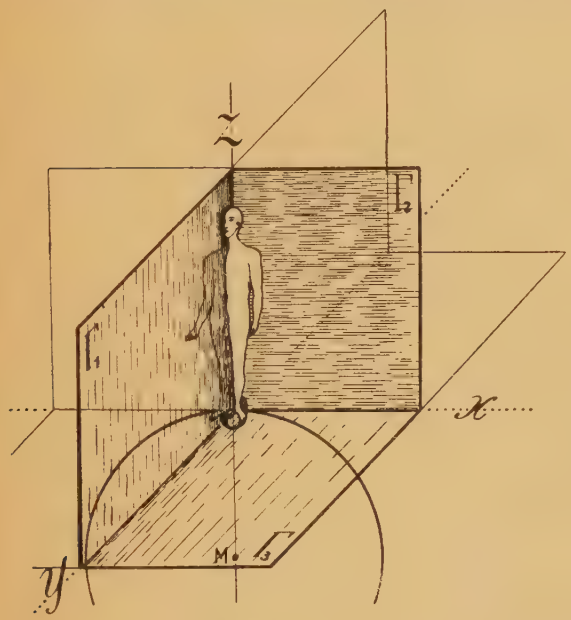
Alle Statiker ohne Ausnahme haben nun bis anhin den aufrechten Körper zur Orientierung der Form mit dem Rücken gegen die vertikale Wand gestellt, an die sich nach allgemein gültigen Vorstellungen die Konvexitäten der Kreuzbein- und Brustwirbelsäule anlehnen. Es ist die Stellung „vor der dorsalen Vertikalebene", wobei die „Fuß- oder Standebene" als ideelle Tangentialebene der Erdoberfläche horizontal zu liegen kommt (Fig. 1).

Bei dieser Orientierungsweise war nur noch die Frage streitig, ob bei der Normalhaltung der Form der Gesamtschwerpunkt der ganzen Körperform vor, in oder hinter der vertikalen Balancierebene liegen soll, welche man sich durch die Zentren der beiden Femoraköpfe gehend zu denken hat (W. BRAUNE, O. FISCHER, H. v. MEYER).

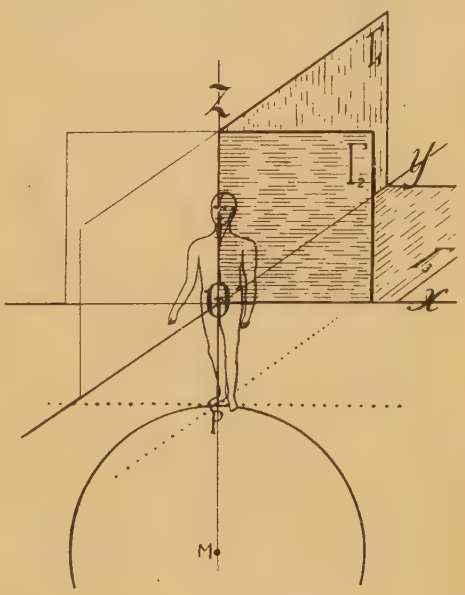
Obgleich diese orientierende Vorstellung der menschlichen Körperform auch heute noch für anthropometrische Messungen allein im Gebrauche ist, konnten wir sie nicht zum Ausgang nehmen für ein Orientierungssystem der Beckenform, auf das sich eine Darstellung und mathematische Berechnung der Form hätte stützen können. Es fehlte dabei an gut markanten Fixpunkten an den Koordinatenlinien. Zudem lag der Nullpunkt 0 in der Standebene zu weit vom Beckenring entfernt (Fig. 1).

Wir schlugen dafür ein anderes Orientierungssystem vor (Arch. f. Anthrop. N. F. Bd. XIII), die Orientierung des Beckens an der Pubospinalebene. Durch Messungen an einer großen Zahl männlicher und weiblicher Individuen hatte H. v. MEYER festgestellt (s. Einleitung S. 5), daß die Beckenstellung dann der Lage bei normaler aufrechter Körperstellung entspreche, wenn wir die beiden Spinae anter. super. ossis ilei und die beiden Tubercula pubis in die Vertikalebene bringen und dabei das Tuber ischii auf der horizontalen Tischplatte aufsitzen lassen.

Daß dieses „Naturgesetz" im Sinne W. OSTWALDs in gleicher Weise für den weiblichen wie für den männlichen Beckentypus Gültigkeit hat, mußte überraschen und bereits als Teilerscheinung eines größern mathematischen Systems gedeutet werden. Zudem gibt uns die Angabe H. v. MEYERs, auf die der Autor selber nur wenig Gewicht gelegt zu haben scheint, die gewünschten Angaben über die Vertikalrichtung am Beckenskelett selber, indem je zwei symmetrisch gelegene Doppelpunkte (Spin. ant. sup. und Tuberc. pubis), die bei



Figur 1.



Figur 2.

Orientierung des menschlichen Beckens in situ
vor der *Dorsal*ebene Γ_2 (bisherige Auffassung) **hinter** der *Frontal*-(Ventral- oder Pubospinal-)ebene Γ_2.
M = Erdmittelpunkt. MZ = Vertikallinie. O = Nullpunkt des Orientierungssystems.
Γ_1 und Γ_2 = Vertikalebenen. Γ_3 = Horizontalebene.

seitlicher Beckendarstellung mittels Orthogonalprojektion je in einen Punkt zusammenfallen, in die vertikale z-Ordinate zu liegen kommen, während das Tuber ischii auf der horizontalen Abszisse aufsitzt. Damit ist auch der Nullpunkt 0 (Fig. 2) des Koordinatensystems gegeben, und zwar in unmittelbarer Nähe der übrigen Beckenfixpunkte selber. Das hat seinen großen Vorteil sowohl für die Darstellung wie für die Berechnung der Form.

Für drei in einer Ebene gelegenen Punkte A, B und C ein Koordinatensystem zu finden, sind gemeinhin drei Möglichkeiten gegeben, indem man je zwei der Punkte durch eine Gerade verbindet und durch den dritten Punkt darauf die Senkrechte zieht. So entstehen die drei Nullpunkte 0_1, 0_2 und 0_3 (Fig. 3a, b, c) trotz der gleichen Lagekorrelation der Punkte A, B und C in einer Ebene untereinander. Die Nullpunkte 0_1, 0_2, 0_3 haben vollkommen verschiedene Lagen, zu denen auch die Korrelationen eines vierten Punktes N sich durchaus verschieden gestalten (Fig. 3).

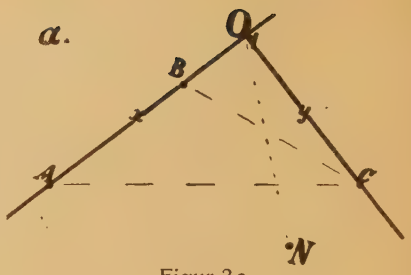
Ganz anders aber, wenn das Koordinatensystem bereits vertikal orientiert ist. Hier ist nur eine Lösung der Aufgabe möglich. Der Nullpunkt 0 ist jetzt in seiner Lage absolut gesichert (Fig. 4).

Dasselbe ist der Fall, wenn zwei oder drei der Punkte unter sich in der Lage bereits vorweg soweit orientiert sind, daß man sagen kann, sie liegen entweder auf der vertikalen z-Achse, oder der dazu senkrecht stehenden horizontalen Koordinatenachse x. Die Ordinatenwerte für diese Punkte sind damit gesichert. Es gilt dies jetzt auch für jeden andern Punkt dieser Darstellungsebene, z. B. E, dessen Lagerelation durch einfaches Loten auf die beiden Koordinatenachsen ermittelt wird (E', E'').

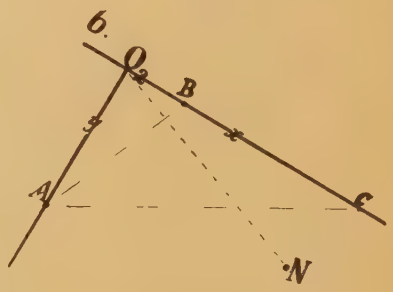
Danach ist für unsere Beckenorientierung die Lage der Koordinatenachsen, wie die Lage des Nullpunktes 0 gesichert; denn für die seitliche Projektion des Beckens, des männlichen wie des weiblichen Becken-Typus, kommt nach dem H. v. MEYERschen Gesetz der (Doppel-)Fixpunkt der Spina ant. sup. ossis ilei, wie derjenige des Tuberculum pubis an die vertikalstehende z-Ordinate („Spur" der frontalen Pubospinalebene), und der dritte Fixpunkt (Tiefstpunkt des Tuber ischii) in die horizontale x- oder y-Abszisse zu liegen. Damit sind auch die Hauptebenen für unser Projektionssystem des Beckens in der Lage fixiert, da das orientierende Ordinatensystem bereits an die Beckenform selber angelegt ist. Wir sagen also: Das Becken steht hinter der Frontal- oder Pubospinalebene (Fig. 2). Senkrecht zu dieser vertikalstehenden „Frontalebene" XOZ steht die horizontale „Grundebene" XOY und wieder senkrecht zu diesen beiden die vertikale Medianebene YOZ. Ich habe dafür die einfachen Bezeichnungen Γ_2, Γ_3, Γ_1 gewählt (s. Fig. 1 und 2). Auf diese Projektionsebenen werden die gewählten Fixpunkte des Beckens mittels Orthogonalprojektion geworfen, wobei die Abstände zweier Punkte voneinander entweder die natürlichen bleiben oder aber in einen Punkt zusammenfallen, was durch die Darstellung auf einer andern Ebene korrigiert wird.

So sind wir imstande, die Beckenform nach allen drei Hauptrichtungen des Raumes hin in ihren natürlichen Dimensionen und Proportionen viel besser zur Anschauung zu bringen, als dies bei der Kompliziertheit der Form durch den einfachen Aspekt möglich ist. Und daran schließen sich trigonometrische Berechnungen mit Leichtigkeit an.

Aber auch nach jeder andern, beliebig zu wählenden Richtungsebene des Raumes hin läßt sich jetzt die Form darstellen ohne die Form zu zerstören, sobald man nur einmal den Neigungswinkel der neuen Darstellungsebene (Γ_5, Γ_4 usw.) im Orientierungssystem kennt (Fig. 5).



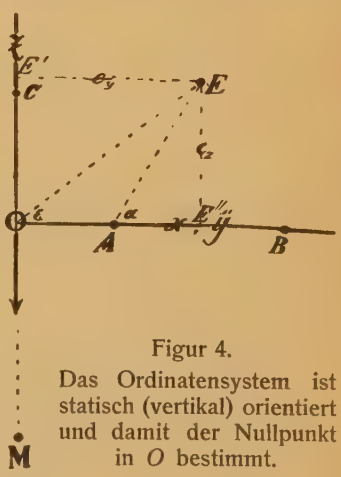
Figur 3a.



Figur 3b.

Figur 3c.

Die drei nicht vertikal orientierten Ordinatensysteme für die Lagerelation ABC.

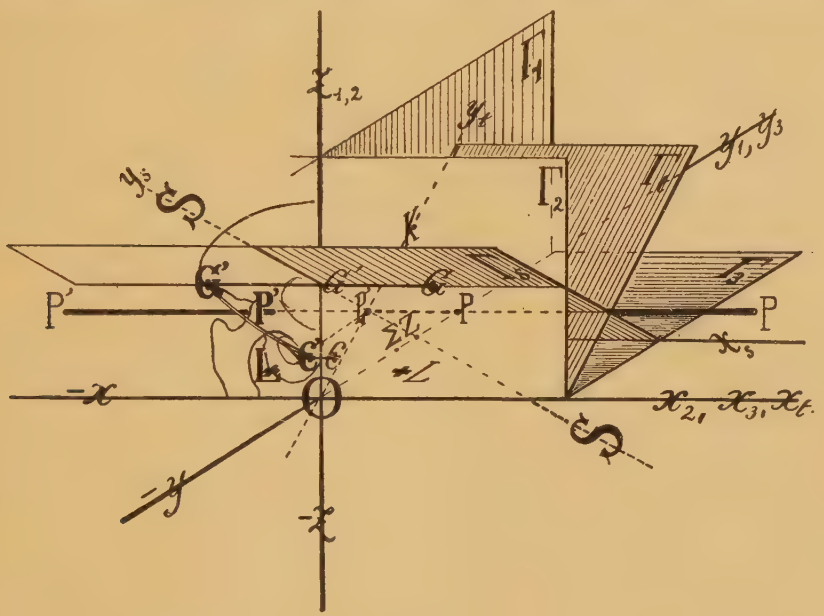


Figur 4.

Das Ordinatensystem ist statisch (vertikal) orientiert und damit der Nullpunkt in O bestimmt.

Auf allen Projektionsebenen bilden die „Spuren“ mit den Hauptebenen die Achsen des Koordinatensystems.

Noch auf einen für die Darstellung und Berechnung ganz wesentlichen Punkt müssen wir hier aufmerksam machen. Die äußere Körperform des Menschen ist — sofern wir von funktionell entstandener Unregelmäßigkeit und Asymmetrie absehen — vollkommen symmetrisch gebaut. Die linke Körperhälfte ist also das Spiegelbild der rechten und um-



Figur 5.

Die Projektionsebenen $\Gamma_1\,\Gamma_2\,\Gamma_3\,\Gamma_4\,\Gamma_5$ unseres Orientierungssystems.

Γ_1 = Median- oder Symmetriebene. Γ_3 = Grund- oder Sitzebene.
Γ_2 = Frontal- oder Pubospinalebene. Γ_4 = Ebene der Stützachse OK_1.
Γ_5 = Ebene der „Seelenachse“ $SS = GZ$.

Die Beckenachsen: PP' = Drehachse. $SS = G'Z$ = Seelen- od. Hauptachse.
OK = Stützachse. $G'\Sigma$ = Sprengachse (weiblich).

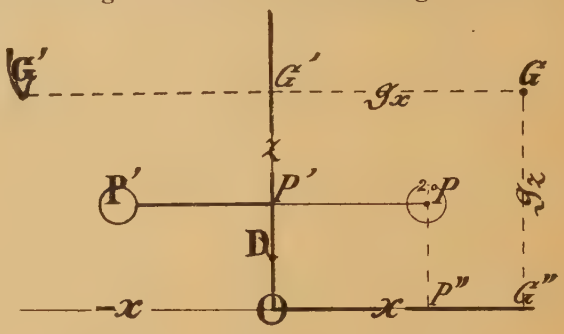
gekehrt. Wir brauchen also nur die eine Hälfte zu projizieren und zu berechnen, um auch die andere zu kennen. Die Medianebene wird für die Normalstellung zur vertikal gelegenen Symmetrie- und Teilungsebene. Sie bildet also für die Dynamik wie für die Konstruktion zugleich die Gleichgewichtsebene, und es ist daher die Γ_1-Ebene als Ausgangsebene für unser Orientierungs- und Darstellungssystem aufzufassen.

Die vertikale z-Achse steht also mitten vor der Symphysis pubis; alle Punkte, die in der YOZ- oder Γ_1-Ebene selber liegen, sind vom dynamo-statischen Standpunkte aus als Nullpunkte für die andern Ebenen zu betrachten.

Daraus erhellt die notwendige Konsequenz, daß sämtliche Querdurchmesser nur von der Medianlinie ab zu nehmen sind. Um trotzdem in der Vorstellung ein möglichst anschauliches und vollständiges Bild wachzurufen, habe ich die Darstellungsmanier so gewählt, daß ich die rechte Beckenseite bildlich durch Orthogonalprojektion darstellte und diese halbseitige Darstellung durch die Konstruktionszeichnung der

linken Hälfte ergänzte. So entsprechen auch im Bilde die Benennungen „Rechts“ und „Links“ im Sinne der heraldischen Auffassung durchaus der Orientierung am Individuum selber, dem das Beckenobjekt angehört, und nicht der verkehrten, willkürlichen Benennung vom davorstehenden Beobachter aus entnommen (Bühnenbezeichnung).

Die Originalpunkte am Becken haben in der Regel fettgedruckte Buchstaben erhalten, die auch für die bildliche Darstellung der rechten Hälfte beibehalten werden. Die entsprechenden Punkte der Konstruktion (linke Hälfte) dagegen sind mit denselben nicht fetten Zeichen markiert, ihre Lotpunkte auf den Koordinaten mit dem Index ′, ″ versehen (s. Fig. 6).



„Rechts“ Figur 6. „Links“

Zeichenschema in der Wiedergabe der Form auf der Frontalebene Γ_2.

Wo sich die Begriffe am männlichen und weiblichen Typus nicht völlig decken, habe ich für den weiblichen Typus das griechische Alphabet in Anwendung gebracht.

I. Formanalyse und Synthese eines männlichen Beckens.

Das Becken, das wir zum Gegenstand unserer eingehenden mathematischen Untersuchungen machen, um an ihm den männlichen Beckentypus durch die Analyse der Form näher zu präzisieren, ist ein schön präpariertes, kräftig gebautes „Bänderbecken" mit folgenden konventionellen Maßen: Crista ilei 31 cm, Spinae 27 cm, Trochanteren 33 cm, Konjugata diag. 11,7 cm, Querdurchmesser der Linea innominata 15,6 cm, tuber ischii (Spitze Außenmaß) 12 cm. Im ganzen ist dieses Beckenexemplar symmetrisch gebaut. Die Stellung des Steißbeins weist eine leichte Abweichung nach links auf, so daß die Appertur des Beckenausganges dadurch in der typischen herzförmigen Gestaltung eine leichte Verzerrung erhält, indem die Ligg. tuberoso-sacra und spinoso-sacra rechts und links — wie dies vielfach bei sonst symmetrisch gebauten Becken vorkommt — nicht vollkommen symmetrisch verlaufen. Wir dürfen diese Abnormität bei der Ergründung der Norm (s. Einleitung) ohne Nachteil außer Acht lassen, indem sich wohl kaum ein einziges Individuum finden lassen würde, das in allen Teilen vollkommene Symmetrie aufweist.

Diese männliche Beckenform orientieren wir nun räumlich in der oben beschriebenen Weise (s. Einleitung 3), indem wir auf dem Naturgesetz H. MEYERs fußend, die beiden Spinae anteriores sup. ossis ilei G und G' und die Tubercula pubis C und C' an die vertikale Pubospinalebene (Frontalebene Γ_2) stellen und das knöcherne Becken in dieser Stellung auf der horizontalen Grundebene Γ_3 aufsitzen lassen. Die mediane Symmetrieebene wird zu Γ_1 gemacht. Alle drei Ebenen stehen senkrecht zueinander.

Bei dieser Orientierung fällt uns aber sofort in die Augen, daß bei unserem Becken nicht — wie H. MEYER angibt —, die beiden Tubera ischii selber es sind, welche als Tiefstpunkte auf die Horizontalebene zu liegen kommen, sondern zwei symmetrisch weiter vorne am aufsteigenden Aste der Sitzbeine gelegene Punkte L und L'. Diese Äste gehen bekanntlich bogenförmig in die absteigenden Äste der Schambeine über, und zwar in der Weise, daß die ganze Beckenform auf der ideellen Grundebene Γ_3, die wir uns durch den Tiefstpunkt dieses Bogens gelegt denken, zu balancieren scheint, etwa wie ein Schaukelpferd auf seinen beiden Kufen. Die Tiefstpunkte L und L' dieser Kufen sind gegeben, sobald das Becken in der beschriebenen Weise an die Frontalebene Γ_2 angelegt ist.

Aber auch die beiden andern bereits erwähnten Doppelfixpunkte, die wir zur Anlehnung an die Γ_2-Ebene benutzen, müssen wir noch etwas näher ins Auge fassen, da die Angaben H. MEYERs uns wohl für die Orientierung der Form genügen, nicht aber für die Projektion derselben, indem daraus nicht genügend scharfe Ordinatenwerte abgelesen werden könnten.

Was die Spinae ant. sup. anbetrifft, so ist hier beiderseits ein scharf markierter Punkt G, G' vorhanden als Kantenspitze, an welcher die Fasern des lig. Pouparti sich teilen, um auf den äußern und innern Rand der Crista überzugehen. Schwieriger zu fixieren sind die beiden Tubercula pubis C und C', indem hier die untern Ausläufer der lig. Pouparti im Bogen über die Schambeinhöcker hinunter verlaufen, um in die Crista penis überzugehen. Ich habe daher in der Folge einen anderen Punkt für die Projektion gewählt, der genauer zu bestimmen ist, indem er zwischen C und C' median, jedoch etwas höher, das heißt: auf der Höhe des oberen Symphysenrandes liegt.

Im Weiteren haben wir uns darüber zu verständigen, was wir unter Symphysis pubis verstehen wollen. Bei der seitlichen Projektion (auf I_1) kommt nicht die ovaläre Form des Synchondrosen-Durchschnittes zur Darstellung, sondern eine mehr dreieckige Form, welche durch die an die knorpelige Symphyse anstoßenden Knochenleisten der beiden Schambeine gebildet wird. Trotzdem behalten wir für dieses Projektionsbild den Ausdruck „Symphyse" bei.

Während wir nun die genannten drei Doppelfixpunkte GG', CC' und LL' des Beckens zur Orientierung der Form und zur Anlage des Koordinatensystems für die Projektionen verwenden, tritt für unsere Untersuchungen ein weiterer Doppelfixpunkt in den Vordergrund.

Da nämlich der aufrechtstehende Rumpf des menschlichen Körpers in seinen Beinen nur einen einzigen Stützapparat besitzt, indem die vordern (obern) Extremitäten für die Statik und Lokomotion gemeinhin außer Betracht fallen, und da ferner dieser einzige Stütz- und Bewegungsapparat am Beckenring selber befestigt ist, so muß es für unsere Studie von hohem Interesse sein, in erster Linie die Lage der Balancier- oder Drehachse des Rumpfes im Beckengürtel zu erfassen.

Diese Drehachse geht quer durch den Beckengürtel hindurch, von einem Oberschenkelkopf zum andern. Um ihre Lage und ihre Länge bestimmen zu können, bedürfen wir unbedingt eines Bänderbeckens, an welchem die Femurköpfe in Kontakt erhalten sind.

Als seitliche Grenzpunkte dieser Drehachse nehme ich das Zentrum der Oberschenkelköpfe an, halbkugelförmige Skelettstücke, mittelst derer die Oberschenkel in die Pfanne des Beckengürtels eingelassen sind. Freilich sind die Gelenkkugeln — „um Material zu ersparen", wie man sich gewöhnlich ausdrückt — nur etwas mehr als zur Hälfte ausgebildet. Das hindert nicht, daß sich aus dem Durchmesser das Zentrum der Kugel dennoch bestimmen läßt. Dieses Kugelzentrum liegt von vorne gesehen hinter dem medianen Rand des Lig. ileofemorale. Wir bezeichnen die Zentrumspunkte der Femurköpfe mit $\boldsymbol{P}$ und $\boldsymbol{P'}$. Mechanistisch sind sie sowohl dem Beckenring, wie dem Oberschenkel zuzurechnen.

Alle übrigen meiner Fixpunkte sind median gelegen. Sie kommen also nur in der Einzahl vor.

Es sind dies:

Der Scheitelpunkt $\boldsymbol{A}$ am Angulus pubis

die Steißbeinspitze $\boldsymbol{D}$ am Ende des letzten Steißbeinwirbels

der unterste median gelegene Punkt des Kreuzbeines $\boldsymbol{E}$ an der Symphysis sacro-coccygea,

der Median-Punkt $\boldsymbol{F}$ in der Symphysis sacro-coccygea EF zwischen den beiden Cornua coccygea des ersten Steißbeinwirbels in der Verlängerung der Symphysenebene,

der Endpunkt $\boldsymbol{K}$ der Columna spinalis oder Scheitelpunkt des Hiatus canalis sacralis.

Zur genauern Bestimmung des Promontoriums werden zwei median gelegene Fixpunkte ins Auge gefaßt, der eine H_k am obern Rand des Kreuzbeins, der andere H_l am untern Rande des untersten Lendenwirbels gelegen, während I den obern Rand des letztern bezeichnet. Mit J bezeichne ich die scharfgezeichnete Spitze des Dornfortsatzes des letzten Lendenwirbels.

Schon aus dieser Darstellung der Fixpunkte geht hervor, daß ich gleich wie die Femurköpfe, so auch den untersten Lendenwirbel in die Beckenkonstruktion einbeziehe, während ich anderseits den Tubera ischii, wie den Darmbeinschaufeln vorerst eine mehr

untergeordnete Rolle für die Beckengenese zuweise. Um für die Konstruktion der Form die notwendigen Bezeichnungen zu erübrigen, habe ich daher diesen Skeletteilen keine weiteren Fixpunkte mehr gegeben. Nichtsdestoweniger sind ihre Formen in der Projektion in gleich sicherer Weise wiedergegeben.

A. Analytische Formzergliederung.

1. Projektion auf die Symmetrie-Ebene Γ_1. Seitenansicht.

Die Bezeichnungen der Fixpunkte erhalten den Index $\ldots_1$. Die Projektionsebene Γ_1 steht senkrecht zur Frontalebene Γ_2, wie zur Grundebene Γ_3. Die Ordinatenachse z_1 ist bestimmt durch die Projektions-(Doppel-)Punkte G_1 und C_1; die Abszissenachse y_1 geht durch den Tiefstpunkt L_1 am Ramus asc. ossis ischii. Die Projektion erfolgt von der linken Seite des Beckens auf die Medianebene mittelst paralleler Strahlen. Die Ordinatenwerte der Fixpunkte werden auf 1 mm genau bestimmt. Sie gestalten sich folgendermaßen:

Tabelle I. **Tab. I.**

Ordinatenwerte der Projektionspunkte auf der *Medianebene* Γ_1, durch direkte Messung gewonnen*).

Fixpunkt auf Ordinate z_1			Fixpunkt	auf Abszisse y_1	
$OA' = a_z$	2,0 cm	(1,97)	A_1	4,7 cm (4,75)	$a_y = OA''$
$OB' = b_z$	5,6 „		B_1	2,0 „ (1,97)	$b_y = OB''$
$OC = c_z$	5,6 „		C_1	—	$c_y \quad O$
$OD' = d_z$	5,6 „		D_1	13,5 „	$d_y \quad OD''$
$OE' = e_z$	9,0 „	(8,75)	E_1	13,5 „	$e_y \quad OE''$
$OF' = f_z$	9,6 „		F_1	14,6 „ (14,5)	$f_y \quad -OF''$
$OG = g_z$	13,5 „		G_1	—	$g_y \quad O$
$OH^{k'} =$	13,9 „		H_1^k	6,3 „	$h_y^k = OH^{k''}$
			H_1^l	4,7 „	$h_y^l \quad OH^{l''}$
$OI' = i_z$	17,0 „	(16,9)	I_1	3,6 „	$i_y \quad OI''$
$OJ' = j_z$	21,0 „		J_1	12,1 „	$j_y \quad OJ''$
$OK' = k_z$	13,5 „		K_1	13,5 „	$k_y = OK''$
$O \quad l$	—		L_1	7,3 „	$l_y \quad OL''$
$OP' = p_z$	6,7 „	(6,75)	P_1	6,7 „ (6,75)	$p_y \quad OP''$

Im ferneren messen:

$E_1 F_1$	Dicke des Os sacrum an der Symphysis sacro-cocc.	1,2 cm
$K_1 k_1$	Dicke des Os sacrum am Knickwinkel (Mitte 3. Kreuzwirbel)	2,0 cm
$C_1 J_1$		19,5 cm
$D_1 J_1$		15,5 cm
	Der Durchmesser des Femurkopfes beträgt	4,0 cm

Schon aus der bloßen Betrachtung dieser Tabelle ergibt sich für unsere Beckenform ohne weitere Berechnung eine auffallende Übereinstimmung gewisser Ordinatenwerte. Mehrere dieser Proportionen hatte ich zuvor an einer größeren Anzahl männlicher Becken ebenfalls nachgewiesen und bereits als „konstant" erkannt; andere konnten nur durch orthogonale Projektion festgestellt werden. (Tafel I und II.)

*) Die in (...) beigesetzten Werte sind diejenigen der trigonometrischen Berechnung.

B.S. 1. **Konstante Proportionen:**

$$\left.\begin{aligned} O_1G_1 = g_z = 13{,}5\text{ cm} = OK'' = k_y \\ O_1G_1 = g_z = 13{,}5\text{ cm} = OE_y'' = e_y \\ O_1G_1 = g_z = 13{,}5\text{ cm} = OD'' = d_y \end{aligned}\right\} = OZ_1.$$

Da wir dem Abszissenfußpunkt E_y eine besondere Bedeutung beilegen, und er zugleich mit K_y und D_y zusammenfällt, so haben wir für ihn eine eigene Bezeichnung gewählt, nämlich Z_1.

Es ist also: $OZ_1 = OE'' = OK'' = OD'' = e_y = 13{,}5$ cm.

Diese Größe bezeichnen wir mit b und nennen sie Beckenbasis.

$$\underline{OZ_1 = b = 13{,}5\text{ cm} = OG_1}.$$

Da sämtliche Ordinatenwinkel rechte sind ($= 90°$), so erhalten wir im Viereck $OG_1K_1Z_1$ ein rechtwinkliges Viereck von gleichen Seitenlängen ($= 13{,}5$ cm), also ein Quadrat. Seine Seitenlänge b läßt sich am Becken direkt messen in der Linea interspinoso-sacralis G_1K_1 (Median-Punkt der Verbindungslinie der Spinae ant. sup. GG') bis zum Endpunkt der Columna spin. am Hiatus sacralis.

Wir ziehen sodann im Quadrat $OG_1K_1Z_1$ die beiden Diagonalen OK_1 und G_1Z_1. Der Schnittpunkt P dieser Diagonalen ist das Zentrum des eingeschriebenen und umschriebenen Kreises für das Beckenquadrat $OG_1K_1Z_1$, dessen Seitenlänge $b = 13{,}5$ cm wir in unseren Voraussetzungen als Basis unserer Berechnungen zugrunde legen.

Ein weiteres überraschendes Verhältnis finden wir nun in den beiden Ordinatenwerten der Drehachse PP' ausgedrückt. Es ist nämlich nach Tabelle I:

$$OP' = OP'' \text{ oder } p_z = p_y = 6{,}7\text{ cm}$$

B.S. 2. d.h. **der Drehpunkt P ist von beiden Koordinatenachsen z und y gleichweit entfernt.**

Wir kehren zu unserem Beckenquadrat $OG_1K_1Z_1$ zurück. Der Schnittpunkt P der Diagonalen OK_1 und G_1Z_1 liegt senkrecht zu der Mitte der Quadratseiten, hat also die Ordinatenwerte

$$p_z = p_y = \frac{13{,}5}{2} = 6{,}7\,(5)\text{ cm}.$$

Da wir die Lage der Fixpunkte am Becken nur auf 1 mm genau bestimmen konnten, so fällt auf Γ_1 die Lage des Drehpunktes P_1 mit dem Zentrum des berechneten umschriebenen Kreises am Beckenquadrat zusammen und wir schreiben inskünftig präzisierter

$$\underline{p_z \text{ und } p_y = 6{,}75\text{ cm}}.$$

Der P-Kreis funktioniert tesseral. Sein Funktionär ist das rechtwinklige Achsenkreuz.

Nun berechnet sich auch der Radius R_p des P-Kreises leicht nach Pythagoras.

$$\underline{R_p = \sqrt{(6{,}75)^2 + (6{,}75)^2} = 9{,}5459\text{ cm}}.$$

Bemerkenswert ist im fernern nach Tabelle I die *Übereinstimmung der Ordinatenwerte D_1 und B_1*. Es ist nämlich: $\underline{d_z = b_y = 5{,}6\text{ cm}}$.

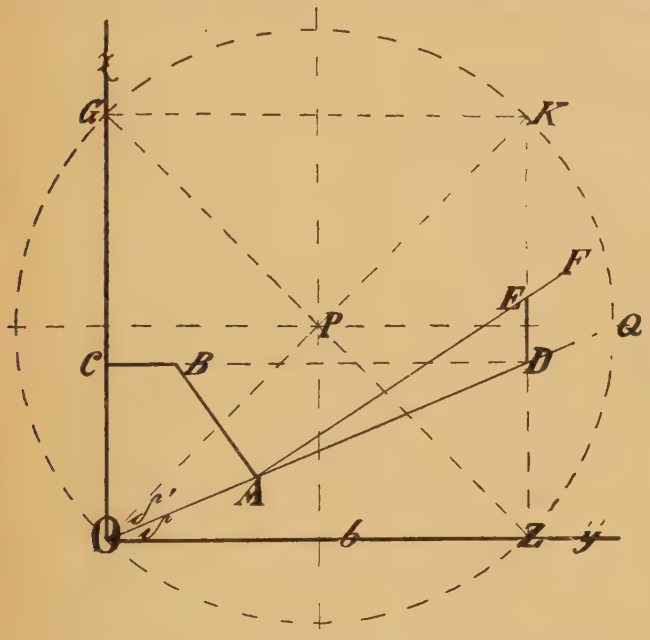
Der Fixpunkt C_1 wurde, wie bereits erwähnt, ebenfalls auf dieser Ordinatenhöhe befunden.

Es wird nun des weitern unsere Aufgabe sein, weitere Lagekorrelationen der Projektionspunkte auf Γ_1 unter sich und mit dem Nullpunkt des Koordinatensystems trigonometrisch festzustellen. Wir tun dies wieder an Hand der gegebenen Projektionswerte zunächst rein mathematisch, d.h. ohne Rücksichtnahme auf die anatomisch-topographische und funktionell-biologische Bedeutung, die jeweils den entsprechenden Fixpunkten am Becken zukommen mag. Es liegt uns daran, die Projektionspunkte auf Γ_1 ihrer gegenseitigen Lage nach

möglichst in ein mathematisches System zu bringen, und ein solches System auch auf den andern Projektionsebenen Γ_2 und Γ_3 usw. zu verfolgen, was uns zur Erkenntnis der Form nach allen drei Raumdimensionen hinführen kann.

Das mathematische System.

Wir beginnen dabei mit den untern*) Projektionspunkten auf Γ_1. Den Berechnungen legen wir die auf Tabelle I verzeichneten Ordinatenwerte zugrunde. Der Index $..._1$ kann nun der Einfachheit halber ohne Schaden gänzlich weggelassen werden.



Figur 7.
Lagekorrelation der Projektionspunkte $ABCGPKD$ und E nach Tafel I und II.

Wir verbinden (Figur 7) D mit O. Im Dreieck ODZ ist dann

$$\frac{DZ}{OZ} = \operatorname{tg} \sphericalangle \delta$$

$$= \frac{5{,}6}{13{,}5} = -\log \frac{0{,}7482}{0{,}1303} = \log \operatorname{tg} 9{,}6179.$$

$$\log \operatorname{tg} 9{,}6179 = \operatorname{tg} 22^0\,30'$$

$$\sphericalangle \delta = 22\tfrac{1}{2}^0 = \frac{45^0}{2}.$$

Es ist ferner im gleichschenkligen Diagonalen-Dreieck OZP nach *B.S.* 2

$$\sphericalangle POZ = \sphericalangle PZO = 45^\circ,$$

somit auch

$$\sphericalangle \delta' = \sphericalangle \delta = 22{,}5^\circ = \frac{45^0}{2}.$$

Verbinden wir A mit dem Nullpunkt O, so haben wir in ähnlicher Weise **B.S. 3.**

$$a_z : a_y = \frac{2{,}0}{4{,}7} = \operatorname{tg} \angle x.$$

$$x = 23^\circ\,3'.$$

Dieser Winkel x differiert also nur um $\frac{1}{2}^\circ$ vom Winkel δ, dessen Größe durch das größere Dreieck ODZ genauer bestimmt ist, wobei die Fehlerquellen bedeutend verkleinert werden. Nehmen wir umgekehrt x δ $22\frac{1}{2}^\circ$ und berechnen daraus a_z und a_y, so erhalten wir

$a_z = 1{,}97$ cm (statt 2,0)
$a_y = 4{,}75$ cm (statt 4,7) } Tabelle I,

womit DAO zur Geraden wird. Mit anderen Worten:
Der Punkt A liegt auf der Geraden OD oder: die Verlängerung von AD geht durch den Nullpunkt unseres Ordinatensystems.

Da nun einerseits $\sphericalangle \delta = 22\frac{1}{2}^\circ = \frac{45^0}{2} = \frac{90^0}{4}$ beträgt, und so ohne besondere Apparate eine genau zu bestimmende Größe ist, anderseits aber nach dem bekannten Lehrsatze der

*) NB. Wir dürfen der Einfachheit halber, da unser Ordinatensystem bereits im Sinne des Vertikalismus orientiert ist, den Zeichnungen inskünftig diese Begriffsbestimmungen unterlegen und die z-Achse sowie ihre Parallelen als „vertikal" die y-Achse samt ihren Parallelen als „horizontal" bezeichnen; damit ergibt sich auch ein „Oben" und ein „Unten" in der Bezeichnung, entsprechend der natürlichen Lage des projizierten Beckens beim Aufrechtstehen des Individuums.

Geometrie in einem Kreise der Peripheriewinkel die Hälfte des Zentrumwinkels beträgt, der mit ihm auf dem gleichen Peripherieabschnitt steht, so haben wir im Winkel δ und im Punkte D bereits zwei Funktionäre des P-Kreises kennen gelernt. Verlängern wir nämlich OD und ziehen durch das Kreiszentrum P eine Gerade $\parallel$ zur Abszisse y, so schneidet die verlängerte Linie OD diese Gerade im Peripheriepunkte Q und zwar wieder unter dem $\sphericalangle \delta = 22\frac{1}{2}^\circ$ (Wechselwinkel). D wird also im Kreise bestimmt, indem wir den einen Endpunkt Q des horizontalen Durchmessers mit dem einen gegenüberliegenden Endpunkt (O) des gleich gerichteten eingeschriebenen Quadrates verbinden. D liegt dann auf dem Schnittpunkt der Linie (OQ) mit der durchschnittenen Quadratseite (KZ). Legen wir durch D eine Gerade $\parallel$ zum Durchmesser PQ und zur Abszisse y, so entspricht sie in der Lage der Geraden CD; denn es ist nach Tabelle I:

$$d_z = b_z = c_z = 5{,}6 \text{ cm}.$$

Der Abstand dieser Geraden DBC vom horizontalen Kreisdurchmesser (PQ) ist ebenfalls zu ermitteln. Er beträgt

$$p_z - c_z = 6{,}7 \text{ cm} - 5{,}6 \text{ cm} = 1{,}1 \text{ cm}$$

und ihr Abstand von der obern Quadratseite GK beträgt somit

$$\underline{CG} = DK = 6{,}7 \text{ cm} + 1{,}1 \text{ cm} = \underline{7{,}8 \text{ cm}}.$$

Damit ist nun auch das Rechteck $CGKD$ bestimmt mit den Seitenlängen $13{,}5 \times 7{,}8$ cm (Fig. 8). Wir ziehen die beiden Diagonalen CK und GD dieses Rechteckes. Sie schneiden sich im Schnittpunkt M. Die Berechnung der Winkel in den beiden Dreiecken GKD und CGK, die gleich und kongruent $(\cong)$ sind, erfolgt wieder nach dem Tangenten-Satze.

$$\frac{CG}{GK} = \operatorname{tg} \sphericalangle \varepsilon$$

$$= \frac{7{,}8}{13{,}5} = -\log \; 1{,}13033$$

$$\log \operatorname{tg} 9{,}76176 = 30^\circ 1'$$

$$\underline{\varepsilon = 30^\circ}.$$

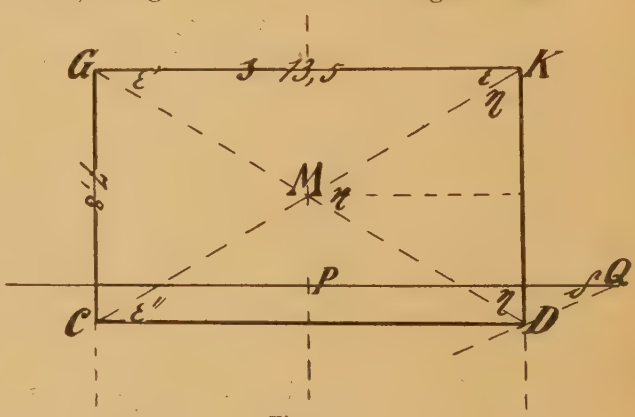
Nun ist aber $\varepsilon = \varepsilon'' = \varepsilon'$, da im Rechteck $CGKD$ alle gegenüber liegenden diagonalen Dreiecke gleich sind. Daher

$$\sphericalangle \eta = 90^\circ - \varepsilon$$

$$90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

$$\underline{\sphericalangle \eta = 60^\circ = 2\varepsilon}$$

Im Dreieck DMK ist somit der Winkel bei M



Figur 8.
Lagekorrelation der Projektionspunkte $GCDK$ nach Tafel I und II und Tabelle I.

$$DMK = 180^\circ - 2\eta = 180 - 120 = 60^\circ.$$

Dreieck DMK ist also ein gleichseitiges Dreieck. Beschreiben wir von M aus einen Kreis mit dem Radius MK, so geht er auch durch D, und da Dreieck GCM = Dreieck DKM ist, auch durch die Punkte C und G. Der Radius $KM = r_m$ ist aber auch $= KD = CG = 7{,}8$ cm

B.S. 4. d. h. **der *M*-Kreis funktioniert hexagonal.** Seine Hauptfunktionäre sind der Radius und der Winkel $\eta = 60^\circ$.

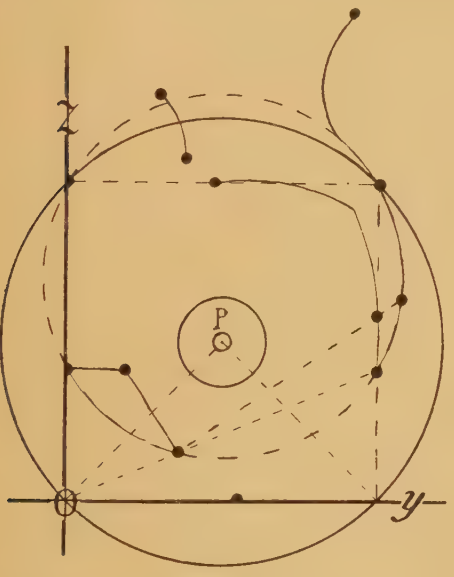
Indem wir den neuen dieser Funktionäre, nämlich den Winkel η und anderseits die Beckenbasis $GK = b = 13{,}5$ cm in die Rechnung einsetzen, gelangen wir nun zum voll-

kommen genauen Wert für den Radius r_m des M-Kreises, den wir bis jetzt nach unsern mit groben Mitteln gefundenen Maßen zu 7,8 cm ausgerechnet haben. Es ist nämlich, wie sich später herausstellen wird, von höchstem Interesse, hierfür einen möglichst exakten Wert zu besitzen, der sich nur auf trigonometrischem Wege unter Benutzung exakter Winkelgrößen finden läßt. Es ist im Dreieck DGK die Diagonale $DG = 2\,r_m$.

$$DG = \frac{GK}{\cos\eta} = \frac{13{,}5\text{ cm}}{\cos 60^0} = \begin{array}{rr} & \log\ 1{,}130333 \\ -\log\cos & 9{,}937530 \\ \log & 1{,}192803 = 15{,}589\text{ cm}. \end{array}$$

$$15{,}589 = 2\,r_m; \quad \underline{r_m = 7{,}7945.}$$

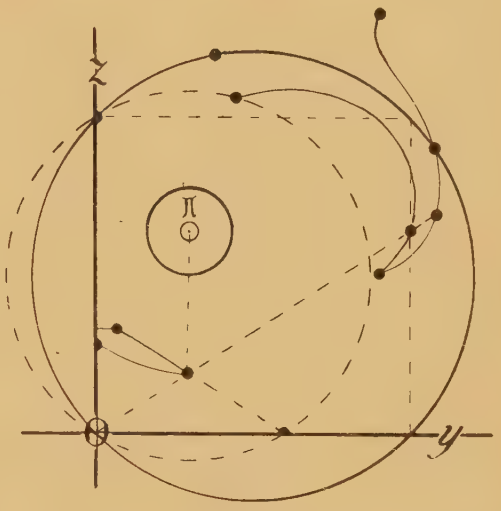
Bis jetzt finden wir, daß fünf unserer Projektionspunkte als Funktionäre zweier Kreise **B.S. 5.** auftreten. Zwei dieser Punkte, G und K, gehören beiden Kreisperipherien an, während die beiden anderen wohl auf der Peripherie des M-Kreises liegen, jedoch innerhalb des größeren



Figur 9a.

Gegenseitige Lagerung des formbildenden — und formerhaltenden Kreises auf — Γ_1 beim männlichen Beckentypus.

Gemeinsame Linie: Die horizontale Sacrospinallinie.
Sechs Fixpunkte auf dem formbildenden Kreise.
P Drehachse des Rumpfes.



Figur 9b.

beim weiblichen Beckentypus.

Gemeinsame Linie: Die vertikale z-Achse.
Drei Fixpunkte auf der Peripherie des kleinen Kreises.
Π Drehachse des Rumpfes.

P-Kreises, als dessen gleichzeitige Funktionäre sie auftreten. P bildet das Zentrum des größern (P-)Kreises. Bezeichnen wir $GK = s$, so bildet (Fig. 9a) diese Linie die gemeinsame Sehne für beide Kreise. Sie ist nämlich Seite des eingeschriebenen gleichseitigen Vierecks ($OGKZ$) im P-Kreise und zugleich Seite des eingeschriebenen gleichseitigen Dreiecks im M-Kreise; s wird daher zum Funktionär für beide Kreise, die dadurch in ein bestimmtes konstantes Verhältnis zueinander treten. Da s = 13,5 cm ist, so entspricht s auch der Beckenbasis b.

Behauptung: $R_p : r_m =$ konstant.

Vorraussetzung: Zwei Kreise mit den Zentren P und M und den Radien R_p und r_m schneiden sich in G und K derart, daß GK Seite des eingeschriebenen Quadrates im P-Kreise ist.

Also 1. $GK \# OZ = OG$
2. $GK = GV = VK = s$
$GN = NK = s:2.$

Beweis: 1. Aus dem P-Kreis ergibt sich (Dreieck GPK)

$$s^2 = (GP)^2 + (PK)^2$$
$$s^2 = R_p^2 + R_p^2 = 2R_p^2$$
$$s = \sqrt{2}R_p$$

2. Aus dem M-Kreis ergibt sich (Dreieck GMN)

$$GN : GM = \sin 60^0 \text{ oder } \frac{\frac{s}{2}}{r_m} = \sin 60^0.$$
$$s = 2r_m \times \sin 60^0$$

demzufolge

$$\sqrt{2}R_p = 2r_m \times \sin 60^0$$
$$\frac{R_p}{r_m} = \frac{2}{\sqrt{2}} \times \sin 60^0 = \sqrt{\frac{4}{2}} \times \sin 60^0$$
$$= \sqrt{2} \times \sin 60^0 = k \text{ (konstant).}$$
$$\sqrt{2} = 1{,}414; \quad \sin 60^0 = 0{,}86603$$
$$\frac{R_p}{r_m} = 1{,}414 \times 0{,}86603 = \underline{1{,}2246}.$$

Figur 9c.

$\triangle GMN$

$$\frac{\frac{s}{2}}{r_m} = \sin 60^0$$
$$s = 2r_m \cdot \sin 60^0$$

$\triangle GPK$

$$s^2 = 2R_p^2$$
$$s = \sqrt{2} \cdot R_p$$

Das Verhältnis der Radien der beiden Kreise ist konstant = 1,2246 zu 1; denn es ist von keiner anderen Größe als von $\sqrt{2}$ und sin 60° abhängig. Kontrolle: Wir haben die Radien nach der Grundlinie s = 13,5 cm = b berechnet wie folgt: R_p = 9,545 cm; r_m = 7,79 cm. Also ist wieder

$$R_p : r_m = 9{,}54 : 7{,}79 = 1{,}2246.$$

Damit haben wir bereits eine Kontrolle für unsere Berechnungen gefunden. Wir sind dadurch imstande, an Hand der leicht und sicher funktionierenden Kreisfunktionäre R_p, r_m, Winkel 90°, 60°, 30°; 90°, 45°, 22½°, die mit unseren verhältnismäßig groben Mitteln gefundenen Werte auf Tabelle I trigonometrisch zu berechnen. Aus den gegenseitigen Lagebeziehungen von 5 Projektionspunkten auf I'_1 ergibt sich also bereits eine verblüffende Übereinstimmung in der Größe dieser Winkel und Achsenlinien untereinander. Diese Punkte sind sowohl unter sich als mit dem Nullpunkt 0 des rechtwinkligen Ordinatensystems in ein bestimmtes mathematisches System gebracht, und es bleibt uns übrig, noch die weiteren Projektionspunkte auf I'_1, nämlich L_1, B_1, A_1, E_1, F_1, H_{k1}, H_{l1}, J_1, J_1, womöglich ebenfalls in diesem System so unterzubringen, daß ihre Lage durch mathematische Funktionen bestimmt werden kann.

Von A und B wissen wir bereits, daß Punkt B auf die Linie CD, Punkt A auf OQ zu liegen kommt. Die genaue Lage ist noch unbestimmt.

E kommt auf die Quadratseite KZ zu liegen, denn es ist (Tabelle I):

$$e_y = d_y = k_y = 13{,}5 \text{ cm} = b.$$
$$e_z = 9{,}0 \text{ cm}.$$

Den Punkt F hatten wir bei der Projektion als den äußersten Punkt der Symphysenlinie EF angenommen, deren Lage noch genauer zu bestimmen ist. Die Abszissencote von F beträgt lt. Messung (Tabelle I) f_y = 14,6 cm, die Ordinatencote f_z = 9,6 cm. Wir suchen beide Punkte

E und F mit dem Zentrum M des M-Kreises in Korrelation zu bringen, welches ungefähr auf gleicher Ordinatenhöhe zu liegen scheint.

Es halbiert die Horizontale, die durch M geht, die beiden Vertikallinien GC und KG (nach Fig. 8); denn es ist

$$\frac{\eta}{2} = \frac{60^0}{2} = 30^\circ - \varepsilon.$$

M hat also die Ordinatencote (Tabelle I)

$$m_z = \frac{g_z + c_z}{2} = \frac{13{,}5 + 5{,}6}{2} = \frac{19{,}1}{2}$$

$$\underline{m_z = 9{,}55 \text{ cm}.}$$

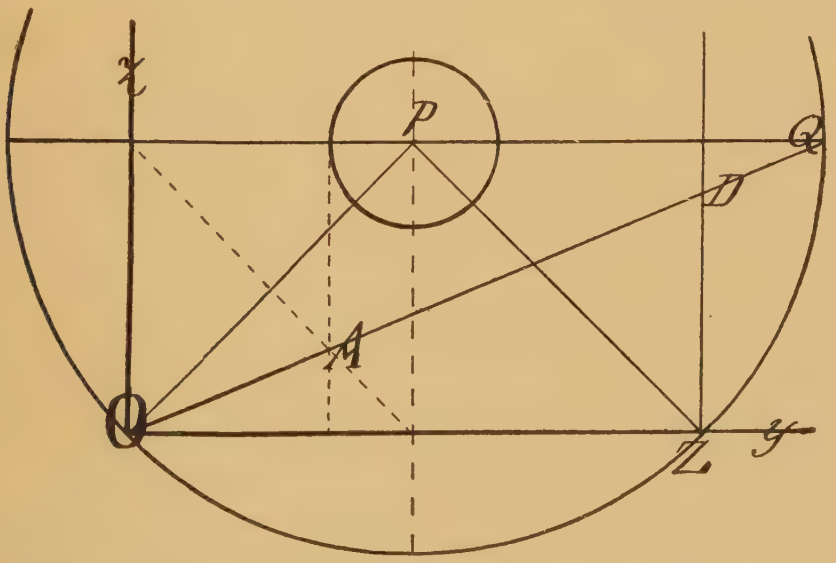
Nun hat aber F_z nach Beckenmessung die Cote

$f_z = 9{,}6$ cm $\# m_z$, wir nehmen also

$$\underline{f_z = m_z}.$$

Mit dem Punkt F ist auch die Lage von EF bestimmt, jedoch noch nicht ins System gebracht. Dies kann erst mit der näheren Bestimmung der Lage des Punktes E auf KD geschehen und diese Gerade scheint von der Lage von A und B abhängig zu sein, bzw. von der Länge DE. Suchen wir zunächst eine Korrelation zwischen A und dem Punkt D zu erhalten, da ja A sowieso auf dem Funktionär ODQ des P-Kreises liegt (*B.S.* 3). Wir kennen aber einen zweiten Kreis, dessen Mittelpunkt ebenfalls in P liegt und dessen Radius nach direkter Messung $r_f = 2{,}0$ cm hat (Durchmesser des Femurkopfes = 4,0 cm). (Tab. I.)

Wir ziehen die Kreisperipherie dieses kleinen konzentrischen P-Kreises (Fig. 10). Es ist nun nach Tabelle I $p_y = s/2 = 6{,}75$ cm; $a_y = 4{,}7$ cm, somit $\underline{p_y - a_y = 2{,}0 \text{ cm} = r_f}$.



Figur 10.
Das Lageverhältnis von A zu D und P (nach Tafel I).

Ziehen wir also von der Peripherie des kleinen P-Kreises mit dem Radius $r_f = 2{,}0$ cm ein Lot auf die Abszisse y, so ergibt sein Schnittpunkt mit OQ die Lage von A. Nun hat aber auch (Tabelle I) H_l dieselbe Abszissencote wie A, denn es ist $\underline{h_{ly} = 4{,}7 \text{ cm} = a_y}$.

B.S. 6. Die Verbindungslinie von A zu H tangiert vorne den kleinen P-Kreis (Femurkreis).

Was die Lagerelationen des Projektionspunktes L betrifft, durch den wir unsere Abscisse y geführt haben, so ist dafür die Abscissencote gemessen zu $l_y = 7{,}3$ cm. Seine Lagebeziehungen zu andern Fixpunkten werden wir erst später erfahren.

Fassen wir zunächst die Lage des Stützpunktes B näher ins Auge!

Aus Tabelle I wissen wir durch direkte Messung, $b_z = c_z = 5{,}6$ cm $= d_z$.

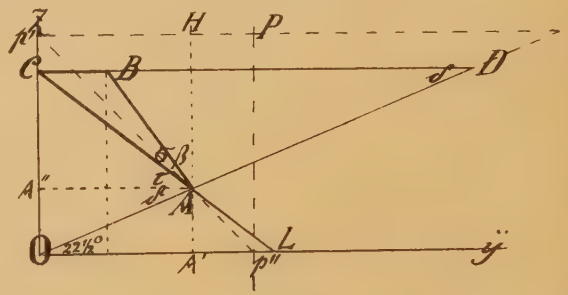
$b_y = 2{,}0$ cm $= r_f$ (genauer 1,97). Der Abstand B von der Ordinate z auf der Horizontale CD entspricht also wieder dem Radius des Femurkopfes.

Es interessiert uns nun vorab einige

B.S. 7. Winkelgrößen bei A

zu berechnen.

$\sphericalangle \delta$ (Fig. 11) kennen wir bereits als Funktionär: $\angle \delta = 22\frac{1}{2}^\circ$. Im Ordinatendreieck $AA''C$ sind die beiden Katheten bekannt.



Figur 11.

Die Projektionspunkte am Beckenausgang nach Tafel I.

Es ist nämlich

$A''A = a_y = 4{,}75$ cm

$A''C = OC - OA'' = c_z - a_z$
$= 5{,}6 - 1{,}97 = 3{,}63$ cm.

$$\frac{CA''}{A''A} = \operatorname{tg}\tau = \frac{3{,}63}{4{,}75} = \begin{array}{ll} & \log\ 0{,}559906 \\ -\ & \log\ 0{,}676693 \\ = & \log\operatorname{tg}\ \overline{9{,}883213} = \log\operatorname{tg} 37^\circ 23' \end{array}$$

$\sphericalangle \tau = 37\frac{1}{2}^\circ$. Somit ist:

$$\sigma + \beta = 90^\circ - \tau = 90^\circ - 37\tfrac{1}{2}^\circ = 52\tfrac{1}{2}^\circ = \angle \alpha$$
$$\tau + \delta = 37\tfrac{1}{2}^\circ + 22\tfrac{1}{2}^\circ = 60^\circ.$$

Im Ordinatendreieck AHB sind wieder die beiden Katheten gegeben, nämlich $AH = A''C = 3{,}63$ cm;

$$BH = a_y - b_y = 4{,}75 - 1{,}97 = 2{,}78 \text{ cm}.$$

$$\frac{BH}{AH} = \operatorname{tg}\angle\beta = 2{,}78 : 3{,}63 = \log 0{,}4440444 - \log\ 0{,}559906$$
$$= \log\operatorname{tg} 9{,}884138 = 37^\circ 27'$$

$\sphericalangle \beta = 37\frac{1}{2}^\circ = \angle \tau$.

Nun ist aber $\angle\tau + \sigma + \beta = 90^\circ$,

$\sigma = 90^\circ - (\beta + \tau) = 90^\circ - 2\beta$
$= 90^\circ - (2 \times 37\frac{1}{2}^\circ) = 15^\circ$.

$\sphericalangle \sigma = 15^\circ$. Wir nennen ihn: „Symphysenwinkel".

Um die Entfernung des Projektionspunktes A vom Kreismittelpunkte M zu berechnen, ziehen wir (Fig. 12) MA, MB und MC. $MC = r_m = 7{,}79$ cm.

Im Dreieck $AA'''M$ eruieren wir die Kathetenlängen

$AA''' = p_y - a_y = 6{,}75$ cm $- 4{,}75$ cm $= 2{,}0$ cm (genauer 1,97).

$A'''M = m_z - a_z = 9{,}60$ cm $- 1{,}97$ cm $= 7{,}63$ cm.

$$\frac{AA'''}{A'''M} = \operatorname{tg}\sphericalangle\mu = 1{,}97 : 7{,}63 = \log\ 0{,}294466$$
$$- \log\ 0{,}882524$$
$$= \log\operatorname{tg}\ \overline{9{,}412122} = 14^\circ 30'.$$

$\sphericalangle \mu = 14\frac{1}{2}^\circ$.

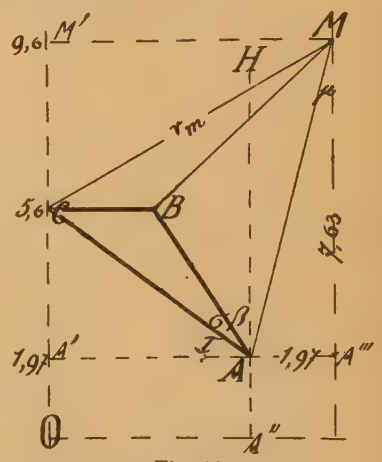


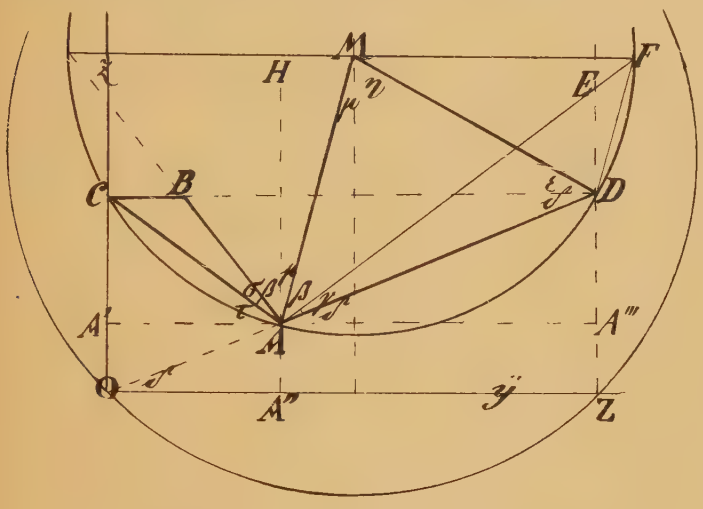
Fig. 12.

Die gegenseitige Lage der Symphysenpunkte A, B und C.

Nun sind wir imstande, auch AM zu berechnen. Es ist

$$AM^2 = (AA''')^2 + (A'''M)^2$$
$$= 1{,}97^2 + 7{,}62^2.$$
$$AM = \underline{7{,}8 \text{ cm} = MC \doteq r_m}$$

Wir haben den Punkt A bereits als auf dem Funktionär ODQ des P-Kreises liegend erkannt. Da nun auch $AM = r_m$ ist, so kommt Punkt A auch auf die Peripherie des M-Kreises zu liegen und wird damit auch zu einem Funktionär für beide Kreise. Damit ist für die Winkelberechnung viel gewonnen. CA, AD und DF werden dadurch zu Sehnen des M-Kreises. (Fig. 13.)



Figur 13.
Lagebeziehung von C, A, D und F zu M.

Voraussetzung: $MA = MD = r_m$. Im gleichschenklichen Dreieck MAD ist nun $\sphericalangle ADM = \delta + \varepsilon = 22\frac{1}{2}^\circ + 30^\circ = 52\frac{1}{2}^\circ = \sphericalangle \alpha$.

$\sphericalangle AMD = \eta + \mu = 60^\circ + 14\frac{1}{2}^\circ = 74\frac{1}{2}^\circ$

also

$\sphericalangle MAD = 180^\circ - (52\frac{1}{2}^\circ + 74\frac{1}{2}^\circ) = 180^\circ - 127^\circ = 53^\circ$.

Wenn nun aber $MA = MD = r_m$ ist, (Voraussetzung), so ist auch

$$\angle MAD = \underline{MDA = \angle \varepsilon + \delta = 52\frac{1}{2}^\circ = \angle \alpha}.$$

Wir haben also mit einer Fehlerquelle von genau $\frac{1}{2}^\circ$ zu rechnen. Diesen kleinen Fehler eliminieren wir ein für allemal am besten dadurch, daß wir $\angle \mu = \angle \gamma = 15^\circ$ setzen, dann ist Winkel $AMD = \eta + \gamma = 60^\circ + 15^\circ = 180^\circ - (52\frac{1}{2}^\circ + 75^\circ) = 180^\circ - 127\frac{1}{2}^\circ = 52\frac{1}{2}^\circ$ = Winkel ADM = Winkel α.

Nun müssen wir auch noch versuchen, die Lage der Punkte B und F in das System einzureihen. Es geschieht durch die trigonometrische Bestimmung des Winkels BAE bzw. BAF, da wir F als in der Verlängerung AE liegend angenommen haben. Bei zahlreichen männlichen Becken hatte ich zu Anfang meiner Studien diesen Winkel DAE durch direkte Messung schon als einen „rechten" erkannt. **B.S. 8.**

Wir haben uns hier nun zweier allbekannter Lehrsätze aus der Geometrie zu erinnern. Sie lauten:

1. Alle Peripheriewinkel, die auf einem Durchmesser des Kreises stehen, sind rechte Winkel, also gleich 90°.
2. Alle Peripheriewinkel, welche auf einem Kreisbogen stehen, sind halb so groß, wie der zugehörende Zentrumswinkel.

Da nun nach Tabelle I, $h_{ty} = a_y = 4{,}75$ ist, so ist (Fig. 12) $HA \parallel z$ und $AA''' \parallel y$ nach Konstruktion; somit Winkel $HAA''' = 90^\circ$ und Winkel HAF somit $= 90^\circ - (\gamma + \delta) = 90^\circ - 37\frac{1}{2}^\circ = 52\frac{1}{2}^\circ = \angle \alpha$. Im ferneren ist Winkel MAF = Winkel $\alpha - \angle \mu = 52\frac{1}{2}^\circ - 15^\circ = 37\frac{1}{2}^\circ = \angle \beta$.

Nun ist aber auch auf der anderen Seite von HA (Fig. 10) Winkel $BAH = \angle\beta - 37\frac{1}{2}^\circ = \alpha - \mu$

und da auch $\delta + \gamma = 22\frac{1}{2}^\circ + 15^\circ = \beta$ ist,

so können wir $\angle FAA''' = 37\frac{1}{2}^\circ$ durch $\angle\beta = HAB$ ersetzen,

d. h. Winkel $BAF = BAH + HAF = \angle\beta + \mu + \beta$

$= 2\,\text{mal}\ 37\frac{1}{2}^\circ + 15^\circ$

also **Winkel $BAF = 90^\circ$.**

Damit ist die Relation der Lage sowohl von B wie von E ermittelt.

Da A der Peripherie des M-Kreises angehört, ist Winkel BAF Peripheriewinkel dieses Kreises. Beträgt er 90°, so liegt er auf dem Durchmesser des Kreises. Verbinden wir F mit dem Kreis-Zentrum M, so haben f_z und m_z die gleichen Ordinatenwerte. Es ist also $f_z = m_z = 9{,}6$ cm, d. h. der Kreisdurchmesser, welchem der rechtwinklige Peripheriewinkel BAF angehört, liegt $\parallel y$, also horizontal. B kommt auf die Linie CD zu liegen, die wir sowohl als Funktionär des P-Kreises wie des M-Kreises kennen. E liegt im Schnittpunkt von OAF mit KDZ. Abhängig ist die Lage der beiden Punkte D und E von der Lage des Scheitelpunktes A, bzw. von der Länge der beiden Linien CA und DE.

Nun sind wir auch imstande, die Ordinatencote e_z von E, die wir nach Tabelle I zu 9,0 cm bemessen haben, trigonemetrisch zu bestimmen und zwar an Hand genauer Winkelmaße.

Es ist (Fig. 12) im Dreieck $AA'''E$:

$$AA''' = e_y - a_y = 13{,}5\ \text{cm} - 4{,}7\ \text{cm} = 8{,}8\ \text{cm}.$$
$$\angle EAA''' = \angle\delta + \gamma = 37\frac{1}{2}^\circ.$$

Daraus folgt:

$$A'''E = AA'''\ \text{mal tg}\ \angle\gamma + \delta$$
$$= 8{,}8\ \text{cm mal tg}\ 37\frac{1}{2}^\circ = \log 0{,}94448$$
$$+ \log \text{tg}\ 9{,}88498$$
$$= \log 0{,}82946 = 6{,}75\ \text{cm}.$$

$$ZE = e_z = ZA''' + A'''E = 6{,}75\ \text{cm} + 2{,}0\ \text{cm}$$
$$e_z = 8{,}75\ \text{cm}.$$

Berechnen wir im ferneren den Peripheriewinkel BAD, so besteht derselbe aus Winkel $BAE + EAD$, d. h. aus $90^\circ + \angle\gamma$.

Es ist also Winkel $BAD = 105^\circ$.

Dieser Winkel setzt sich auch zusammen einerseits aus Winkel $BAM = \beta + \mu$ und anderseits aus Winkel $DAM = \beta + \gamma$.

Da nun aber $\mu = \gamma$ ist, so folgt daraus der für uns überaus wichtige Satz:

B.S. 9. Winkel $BAM = DAM$ oder

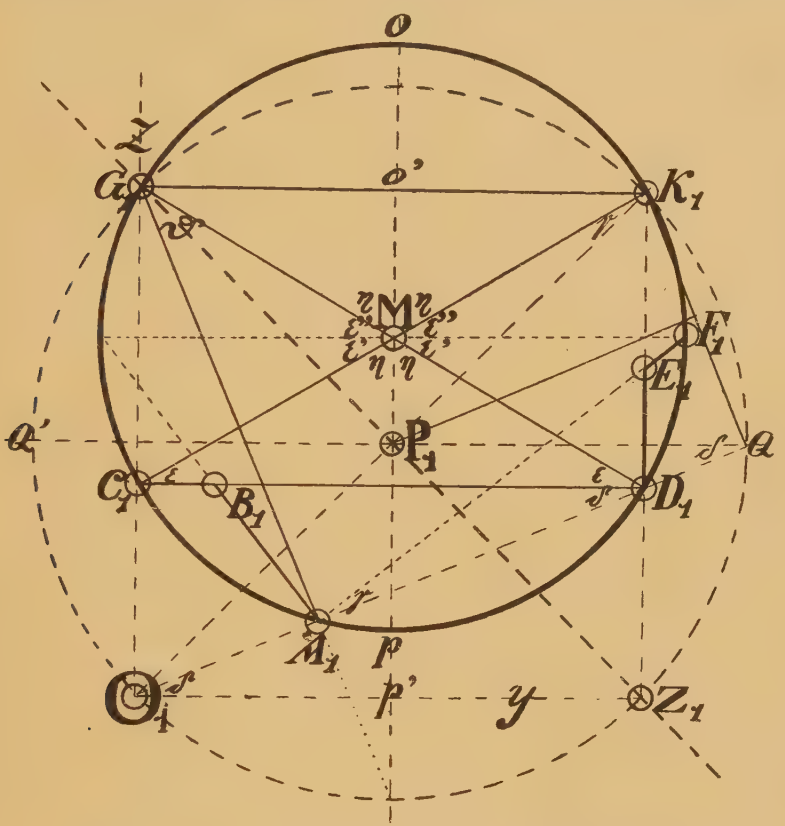
mit anderen Worten: **der Kreisradius MA halbiert den Peripheriewinkel BAD.**

Aus den bisherigen Beweissätzen geht hervor, daß bei Berechnung der Lagerelationen der Beckenfixpunkte auf Γ_1 bestimmte Längen- und Winkelmaße sich stets wiederholen. Ich lege insbesondere auf die Winkelmessung das Hauptgewicht deswegen, weil sie für die trigonometrische Berechnung bekanntlich sehr exakte Werte liefert. Es mag sich daher auch verlohnen, die bereits gefundenen *Winkelgrößen* (Fig. 12 und 14) hier noch einmal zusammenzustellen.

$$\angle\eta = 60^\circ$$
$$\angle\varepsilon = 30^\circ$$
$$\delta = 22\frac{1}{2}^\circ$$
$$\beta = 37\frac{1}{2}^\circ = \tau$$
$$\angle\gamma = 15^\circ = \angle\sigma = \angle\mu$$
$$\alpha = 52\frac{1}{2}^\circ$$

Wir werden inskünftig alle Winkel von 15° mit γ, alle solche von $37\frac{1}{2}°$ mit β und alle von $52\frac{1}{2}°$ mit α bezeichnen.

Nachdem wir oben bereits hervorgehoben, daß der *P*-Kreis „tesseral", der kleinere *M*-Kreis „hexagonal" funktioniert und daß beide Kreise in einem konstanten Verhältnis zueinander



Figur 14. Die Winkelteilung des „formbildenden" *M*-Kreises.

stehen, so dürfen wir a priori auch annehmen, daß die funktionierenden Winkel des einen Kreises zu denjenigen des anderen Kreises in einem Wechselverhältnis zueinander stehen, das durch folgende Zusammenstellung der gefundenen Winkelgrößen bezeichnet werden soll:

Hexagonale Winkelfunktion des M-Kreises.

360°,	60°,	30°,	15°,	$7\frac{1}{2}°$
24γ,	4γ,	2γ,	γ,	$\frac{\gamma}{2}$
η	ε	γ	o	

Tesserale Winkelfunktion des P-Kreises.

$22\frac{1}{2}°$,	45°,	90°,	180°,	360°
δ	2δ	4δ	8δ	16δ
$\frac{3\gamma}{2}$	3γ	6γ	12γ	24γ
	$37\frac{1}{2}°$	$52\frac{1}{2}°$	105°	
	$\delta+\gamma$	$\delta+\varepsilon$	$2(\delta+\varepsilon)$	
	β	α		

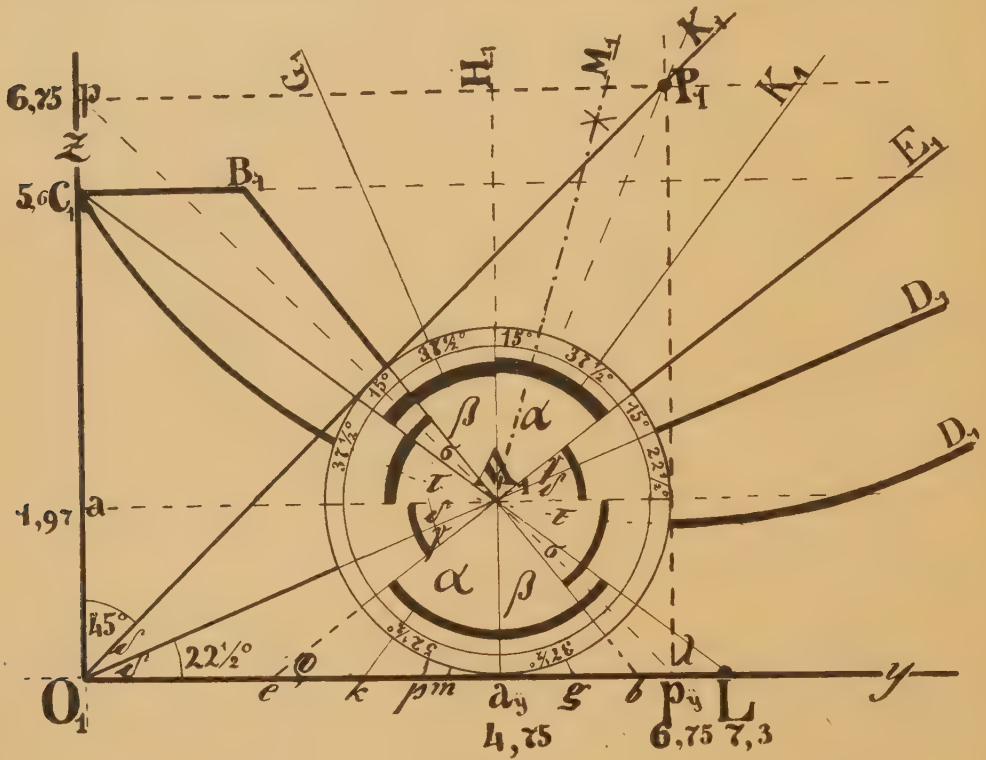
Für den rechten Winkel ϱ sind also beispielsweise folgende Kombinationen möglich:

$$90° = \eta + \varepsilon = 3\varepsilon = 6\gamma = 12\,o$$
$$90° = \alpha + \beta = \delta + \gamma + \alpha = 4\delta \text{ usw. usw.}$$

B.S. 10. Die praktische Anwendung dieser Kombinationen ergibt sich ohne weiteres aus den früheren Sätzen. Wir veranschaulichen sie nochmals in Fig. 15. Es stehen also senkrecht aufeinander

$$BA \perp AE$$
$$HA \perp y$$

Daß auch die Linien GA, MA, PA, KA, CA und DA je zu zweien **bei A „rechtwinklige Verschränkung“** haben, muß erst noch trigonometrisch bewiesen werden.



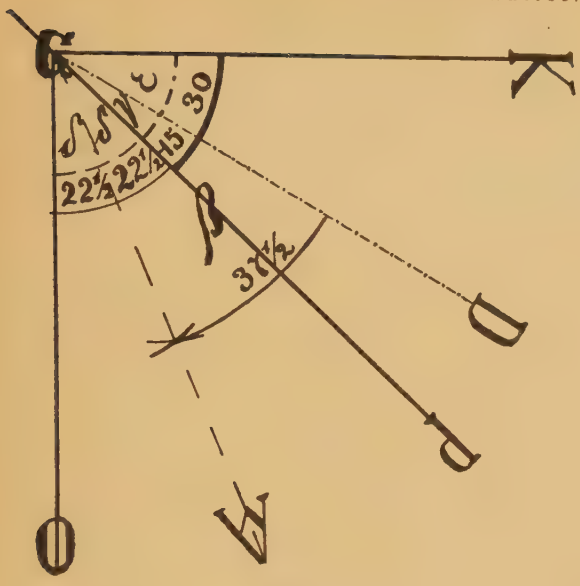
Figur 15.

Die Winkelteilung auf Γ_1 am Scheitelpunkt A des Angulus pubis.
Spreizwinkel BAD (Symphysen-Beckenbodenebene) = 105° wird durch die Steiglinie AM halbiert.
Rechtwinklige Verschränkung der Beckenebene in A.

Dazu bedürfen wir neuer Ordinatenwerte (Tafel I), sowie der bereits gefundenen Korrelationen des P- und M-Kreises. Die „rechtwinklige Verschränkung“ der Fixpunkte G, K, O, Z im Zentrum P war ohne weiteres erkennbar aus der Projektion Γ_1 (Fig. 9). Daß auch CA zu AK und GA zu DA rechtwinklig stehen, geht ohne weiteres als Peripheriewinkel aus dem B.S. 9 (Fig. 14) hervor. GD und CK gehen durch das Kreiszentrum M, sind also Durchmesser des M-Kreises, auf dessen Peripherie außer den Punkten G, C, D und K auch A liegt (*B.S.* 8). Alle Peripheriewinkel bei A sind aber rechte, sobald sie auf Kreisdurchmessern ruhen. Es ist also

$$CA \perp AK$$
$$GA \perp AD.$$

Figur 16 stellt die Winkelkombination beim Fixpunkte G, Figur 17 diejenige am innern Symphysenpunkte B dar.

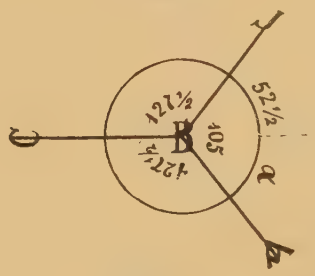


Figur 16.
Die Winkelteilung bei G (spin. oss. ilei ant. sup).

Bei G kennen wir bereits mehrere Winkel, nämlich

Winkel $OGP = 45° = PGK$
Winkel $DGK = MGK = \angle\varepsilon = 30°$
und somit
Winkel $DGP = 45° - 30° = 15° = \angle\gamma$.

$CA \perp AK$
$GA \perp AD$



Figur 17.
Winkelteilung beim innern Symphysenpunkt B.

Es ist zu berechnen, Winkel $OGA = x$.

$$\operatorname{tg} x = \frac{A''A}{A''G} = \frac{6{,}75 - 2{,}0}{13{,}5 - 2{,}0} = \log \; 0{,}67666$$
$$- \log \; 1{,}06069$$
$$x = \delta = 22\tfrac{1}{2}^0. \qquad = \log \operatorname{tg} \overline{9{,}61600} = 22^0\,20'.$$

Damit ist auch Winkel $AGP = 22\frac{1}{2}°$ oder:

Die Verbindungslinie GA halbiert den Winkel OGP.

Interessant ist nun auch die Kombination des Winkels DGA, der aus dem tesseralen $\angle\delta$ und dem hexagonalen $\angle\varepsilon$ besteht.

$$DGA = \delta + \gamma = \beta = 37\tfrac{1}{2}°.$$

Bevor wir das System der beiden Kreise verlassen, bleibt uns noch übrig, die Entfernung der beiden Kreiszentren P und M voneinander festzustellen, die senkrecht übereinander liegen (Fig. 14), und zwar M über P. Da wir die Ordinatencoten der beiden Zentrumspunkte kennen, $p_z = 6{,}75$ cm; $m_z = f_z = 9{,}6$ cm, so gewinnen wir die Distanz zwischen P und M durch einfache Subtraktion. Diese Distanz m ist also

$$m = 9{,}6 \text{ cm} - 6{,}75 \text{ cm} = 2{,}85 \text{ cm (trig. 2,82 s. u.)}$$

Noch wären die Projektionspunkte H_l und J ins Auge zu fassen.

Da diese Punkte Fixpunkte des untersten Lendenwirbels sind, gehören sie nach landläufiger Auffassung des Anatomen nicht mehr zum Beckensystem. Auch in unserem mathematischen System konnten sie bis jetzt keine Unterbringung finden mit Ausnahme H_l, dessen Lage sich senkrecht über A herausgestellt hat. Auch den obersten Punkt H_k der vorderen medianen Kreuzbeinkrümmung werden wir analytisch wie konstruktionell besser in Verbindung mit oben genannten drei Projektionspunkten behandeln.

Nur die Abszissencote j_y von J wollen wir hier noch etwas näher ins Auge fassen. Nach direkter Messung (Tafel I) ist

$$j_y = 12{,}5 \text{ cm}, \quad k_y = e_y = d_y = Z = 13{,}5 \text{ cm} \quad \text{und} \quad f_y = 14{,}5 \text{ cm}.$$

B.S. 11. **Die Differenz der Abszissencote von Z mit derjenigen von J ist also gleich derjenigen von F = 1,0 cm.**

Wir vermögen nun aber die Abszissencote von F noch mathematisch genauer zu bestimmen. Es ist nämlich (Fig. 13)

$$f_y = \frac{s}{2} + r_m = \frac{13{,}5}{2} + 7{,}79 = 6{,}75 + 7{,}79 \text{ cm}$$

$$\underline{f_y = 14{,}54 \text{ cm}.}$$

Die Differenz mit s beträgt somit 14,54 cm — 13,50 cm = 1,04 cm. Danach würde unter obiger Annahme, daß der Abzissencote von J dieselbe Differenz zugrunde läge, diese betragen

$$j_y = 13{,}50 - 1{,}04 = 12{,}46 \text{ cm (anstatt 12,5 cm).}$$

Nach anderer Berechnung ist sie noch etwas kleiner, nämlich 12,2 cm.

Wie wir schon ausgesprochen haben, konnten sämtliche Projektionspunkte auf Γ_1, die als Fixpunkte der eigentlichen Beckenform angehören, als Funktionäre zweier Kreise gedeutet werden. So wäre es jetzt schon ein Leichtes, aus der gegenseitigen Lage einiger weniger dieser Punkte heraus mit Hilfe der gewonnenen Korrelationen an Winkeln und Achsen die Form auf diese Projektionsebene synthetisch zu rekonstruieren und dadurch eine gewisse Kontrolle für die gewonnenen Lagerelationen zu gewinnen. Wir versuchen aber vorerst noch, diesen Relationen von anderer Seite beizukommen. Dafür stehen uns mehrere Wege offen.

In erster Linie mußte es auffallend erscheinen, daß wir bei unseren rein mathematisch geführten Untersuchungen über die gegenseitige Lage der Projektionspunkte auf Γ_1, denen wir stets die nämliche Größe b als „Beckenbasis" zugrunde gelegt haben, nämlich

$$b = OZ = OG = GK = 13{,}5 \text{ cm},$$

daß trotzdem, sage ich, die beiden Kreise in ein so konstantes Verhältnis zueinander treten, daß ihre Radien von dieser Basis-Größe b oder einem anderen Maße völlig unabhängig sind. In der Formel

$$\frac{R_p}{R_m} = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ$$

nämlich sind $\sqrt{2}$ sowie sin 60° bestimmte, unabänderliche Werte. Der Quotient R_p zu R_m ist also von b vollkommen unabhängig geworden. Das legt uns die Aufgabe nahe, noch einmal auf rein mathematischem Wege diesem Verhältnis näher nachzuforschen.

B.S. 12. Zu diesem Zwecke legen wir (Fig. 18) um einen Kreis mit beliebigem Radius r das umschriebene Quadrat (Tangentenviereck). Durch die Endpunkte dieses letztern wird ein zweiter Kreis gezogen mit dem Radius r_1. Das Quadrat wird so gleichzeitig zum eingeschriebenen Viereck des r_1-Kreises wie zum umschriebenen Viereck des r-Kreises. In gleicher Weise legen wir den dritten Kreis mit dem Radius r_2 usw. stets durch die Endpunkte des umschriebenen Quadrats des nächstfolgenden Kreises.

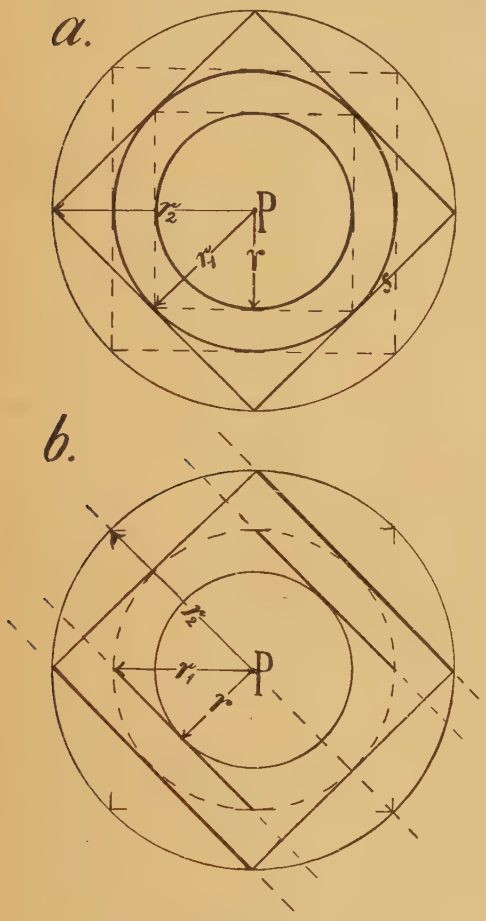
Alle diese Kreise stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, indem bekanntlich jeder zweitfolgende Kreis die doppelte Radiuslänge des zweitvorhergegangenen aufweist, also z. B. $r_2 = 2r$. Es ist nämlich nach Pythagoras

$$r_1^2 = r^2 + r^2 = 2r^2$$

$$r_1 = \sqrt{2r^2} = r\sqrt{2}; \text{ oder } r = \frac{r_1}{\sqrt{2}};$$

ebenso ist $$r_2 = r_1 \cdot \sqrt{2} = r\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} = r \cdot 2, \text{ d. h. } r_2 = 2r,$$

was zu beweisen war. Mögen wir nun auch die Zahl der Kreise und ihre Tangentenvierecke im angedeuteten Sinne vermehren, und mögen wir die Tangentenvierecke legen wie wir wollen: Immer bleiben bei der tesseralen, d. h. rein rechtwinkligen Funktion des Kreises dieselben Proportionen für die Kreisradien bestehen.



Figur 18a, b.
Kreis und Tangentenviereck.

All diese einfachen Relationen sind von zwei Faktoren abhängig: 1. von der Länge des ursprünglichen Kreisradius r des („Kaliber"-)Kreises r, 2. von der konstanten Größe $\sqrt{2} = 1{,}4142$. Andere Zahlenwerte kommen nicht in Frage, indem sich die Radien der größeren Kreise stets wieder als Vielfaches des ursprünglichen Radius r ergeben und $s = b$ ersetzt werden kann durch

$$s = 2r_1 \text{ oder } \frac{s}{2} = r_1 .$$

Aber die in Satz 5 gefundene Formel

$$\frac{R_p}{R_m} = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ$$

enthält noch eine andere konstante Größe, nämlich sin 60°. Dieser Faktor ist ein ausgesprochener Funktionär der hexagonalen Kreisfunktion, den wir in der tesseralen Kreisfunktion nicht unterbringen können. Wir benötigen daher eines Übergangs von der tesseralen oder orthograden zur hexagonalen oder radiograden Funktion.

Die mathematische Vermittlerrolle spielt, wie schon aus der Zusammenstellung der Winkelgrößen hervorgeht, der Winkel γ oder Winkel δ

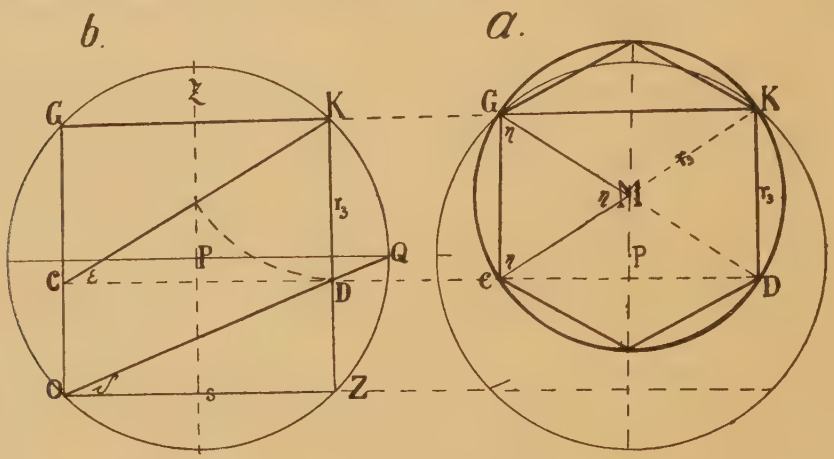
$$\gamma = 15^\circ \text{ bzw. } \angle o = \frac{\gamma}{2} = 7\tfrac{1}{2}^\circ = \frac{22\frac{1}{2}}{3} = \frac{\delta}{3} .$$

Wir legen durch das Zentrum P eines Kreises (Fig. 19a) (die horizontale) Abszisse PQ und orthograd zu derselben das eingeschriebene Quadrat $OGKZ$. Sodann verbinden wir die beiden Peripheriepunkte O und Q durch eine Gerade. Sie schneidet die Quadratseite KZ in D und teilt diese in die beiden Abschnitte KD und DZ, während sie selber mit der Zentrumsabszisse PQ den bestimmten Winkel von $22\frac{1}{2}^\circ = \delta$ bildet (Peripheriewinkel zum Zentrumswinkel von 45°). Den Abschnitt KD machen wir nun zum Radius r_3 eines neuen Kreises, der von K aus die (vertikale) Zentrumsordinate in M schneidet. M sei der Mittelpunkt des neuen Kreises (Fig. 19b). In diesem M-Kreise ist aber der Radius r_3 zugleich auch gleich der Seite des eingeschriebenen Sechseckes, steht also dem Zentrumswinkel von 60° gegenüber (Fig. 14). Der neue r_3-Kreis, der nun ausgesprochen hexagonal funktioniert, ist somit aus dem tesseralfunktionierenden durch Vermittlung des Winkels δ hervorgegangen, der gleich $\angle \gamma + \frac{\gamma}{2}$ ist. Winkel γ selber ist

ebensogut orthograder wie radiograder Funktionär; denn es ist

$$\gamma = \frac{15^0}{1} = \frac{30^0}{2} = \frac{45^0}{3} = \frac{60^0}{4} = \frac{45^0+30^0}{5} = \frac{90^0}{6}.$$

Durch Vermittlung des Winkels γ tritt r_3 als neuer wichtiger Funktionär im System auf. Dieser rein mathematisch gefundene Satz erlangt für uns große Bedeutung; seine Begründung werden wir später auf mechanischem Wege kennen lernen. Legen wir nun den r_3-Kreis so auf den r_2-Kreis, daß die beiden Peripherien durch die Endpunkte von s gehen, so wird s zur Seite des eingeschriebenen Quadrates im r_2-Kreis, denn es ist $s = 2r_1$, $= 2r\sqrt{2}$.



Figur 19a, b.
Der Übergang der hexagonalen (*a*) zur tesseralen (*b*) Funktion des Kreises.

Im r_3-Kreis ist es Seite eines eingeschriebenen Dreiecks,

$$s = 2r_1 \cdot \sin 60^\circ = 2r \cdot (\sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ) = \frac{r\sqrt{2}}{\sin 60^0}.$$

Oder aber: Setzen wir die Radien der beiden Kreise zueinander in Korrelation, so ist

$$\frac{r_2}{r_3} = \frac{r_1\sqrt{2}}{\frac{r}{\sin 60^0}} = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ$$

und da $\sqrt{2}$ und sin 60° bestimmte Zahlengrößen sind, so ist das Verhältnis der beiden in beschriebener Weise an s gelagerten Kreise unabhängig von s und r und konstant (K).

Dasselbe konstante Verhältnis, wie wir es eben aus rein mathematischer Evolution heraus und ohne jeden Zusammenhang mit unserer Beckenuntersuchung an der einfachsten aller mathematischen Figuren, am Kreise festgestellt haben, ist aber die nämliche, die wir für die beiden Kreise: den R_p-Kreises und den R_m-Kreis des mathematischen Systems unserer Projektionspunkte auf Γ_1 gefunden hatten. Laut B. S. 5 ist nämlich

$$R_p : r_m = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ = 1{,}2246.$$

Werfen wir nun einen Blick zurück auf das Gewonnene! —

Noch hatten wir bis anhin alle unsere Projektionspunkte in ihrer gegenseitigen Lage und in ihrer relativen Lage zum O-Punkt nur rein mathematisch genommen betrachtet, ohne jede Rücksichtnahme auf ihre funktionelle Bedeutung im Organismus. Wir bezweckten damit, auf diese Weise zunächst eine exakte Basis zu schaffen,

die frei von allen praktischen Erwägungen uns einen genauen Einblick gewähren sollte in die Raumbeziehungen der Beckenform und in ihre genetische Entwicklung.

Von 12 Projektionspunkten dieser Form auf der Medianebene konnten neun (*A, B, C, D, E, F, G, K, P*) ohne große Mühe in ein mathematisches System gebracht werden und dieses System wiederum ließ sich auf einfache Funktion des Kreises zurückführen. Werden sich auch die übrigen 5 Punkte (*L, H_k, H_l, I, J*) dieser Γ_1-Projektion ebenfalls in das System einreihen lassen? — Auf den ersten Blick scheint dies nicht möglich zu sein.

Wir verlassen daher für einen Moment das rein mathematische Gebiet, indem wir wieder darauf zurückzukommen gedenken, nachdem wir uns zuerst noch auf anderen Gebieten nach anderweitigem Beweismaterial umgesehen haben. Nur einen Gedanken dürfen wir hier zuvor nicht unausgesprochen lassen. Es betrifft dies die Projektionstechnik des Kreises, die wir hier kurz erörtern müssen, nachdem auf Γ_1 6 Projektionspunkte, nämlich *C, A, D, F, G* und *K* sich auf der Peripherie des *M*-Kreises liegend, erwiesen haben.

Ein Kreis erscheint in der Projektion nur dann als Kreis, wenn seine Peripherie in **B.S. 13.** der Projektionsebene selber oder parallel zu derselben liegt. Ist dies nicht der Fall, so ergibt die Projektion des Kreises bekanntlich entweder eine Ellipse oder eine gerade Linie. Ergibt aber **die Projektion einer körperlichen Figur auf mehr als einer Ebene einen Kreis, so besitzt diese Figur Kugelform.**

Da alle die bezeichneten Fixpunkte am Becken in der Medianlinie, also auf Γ_1 selber liegen, so haben wir in der Folge zu untersuchen, ob das Kreissystem, das wir auf Γ_1 gefunden haben, auch auf anderen Ebenen (Γ_2 und Γ_3) wiederkehrt, mit anderen Worten: Es mag für uns jetzt schon von Interesse sein, zu erfahren, ob wir es bei der auf der Γ_1-Ebene zutage getretenen Kreisfigur nur mit einem planimetrischen Kreise, der in der medianen Projektionsebene selber oder parallel zu dieser gelegen sein möchte, zu tun haben, oder aber mit dem Projektionsbild einer ideellen stereometrischen Figur (Kugel- oder Ellipsoid).

Die bloße Erwägung, daß von den 6 auf der Kreisperipherie unseres Systems gelegenen Projektionspunkten *C, A, D, F, K* und *G* nur 4 derselben, nämlich *A, D, F, K* median gelegen sind und in der Einzahl vorkommen, während die beiden anderen *C* und *G* ebenso wie der im Zentrum des Kreises gelegene Punkt *P* nur die projektionstechnische Wiedergabe von zwei sich deckenden Beckenpunkten ***C*** und ***C'***, ***G*** und ***G'***, ***P*** und ***P'*** darstellen, — diese bloße Erwägung sage ich — muß schon darauf führen, daß wir es in unserem Kreissystem der Γ_1-Projektion nicht mit einem planimetrischen Kreise, sondern in der Tat mit einer ideellen Kugelform zu tun haben werden. Wir müssen daher hier schon verraten, daß sich diese Vermutung in überraschender Weise bei der Beckenprojektion auf Γ_2 und Γ_3 bestätigt. Wir haben also nachweisbar in Wirklichkeit mit einer ideellen Beckenkugel zu rechnen, sobald das Kreissystem der Γ_1-Ebene mit denselben Radiuswerten auch auf den übrigen Projektionsebenen wiederkehrt.

Rein mathematisch genommen, ist die Kugel derjenige Körper, dessen zentral gelegener Mittelpunkt von jedem Punkt der Oberfläche gleichen Abstand hat. Jeder Oberflächenpunkt ist gleichwertig wie der andere, und ebenso auch jeder durch das Zentrum gehende Kugelabschnitt, gleichgültig in welcher Richtung derselbe gelegt ist. Dieser mathematische Begriff gilt auch noch für die materielle Kugel, sofern dieselbe aus homogenem Material besteht, und für sich allein, d. h. nicht in Korrelation zu einem anderen Körper (z. B. der Erde) gedacht ist. Da gibt es noch kein „Oben" und kein „Unten", kein „Rechts" und kein „Links". Alle Kugeldurchschnitte sind gleichwertig.

Diese Auffassung wird aber mit einem Male geändert, sobald wir es nicht mehr mit einer homogenen Kugelmasse zu tun haben, oder sobald dieselbe in ihrer wechselseitigen

Lage zum Beschauer oder zu einem anderen Körper betrachtet wird (Relativitätsprinzip). Auch bei Rücksichtnahme auf die Struktur können bei dem Durchschnitte einer Kugel völlig verschiedene Bilder zutage treten (Querschnitte durch eine Billardkugel). Was wir damit für unsere Theorie erzielen wollen, läßt sich am besten auf folgende Weise beleuchten. Wir denken uns aus einem mächtigen Stück Holz oder Elfenbein eine aufrecht stehende menschliche Statue geschnitzt und lassen uns daraus aus der Hüftgegend vom Drechsler eine Kugel herausdrechseln, die wir später nach verschiedenen Richtungen hin durchschneiden. Obgleich die Schnitte in der Längsrichtung der Achse des Elfenbeins und der in der Querrichtung senkrecht dazu verlaufende Kugelabschnitt vollkommen verschiedene Bilder aufweisen, so lassen sich doch die Proportionen der einzelnen Entwicklungsstadien der Jahresringe oder Lamellen auf den verschiedenen Schnitten in gleicher Weise feststellen, sobald nur die Lage der Schnittebene zur Strukturachse feststeht. Auch können wir, was ich besonders betonen will, auf die Richtung der Achse, welche der Konstruktion ursprünglich zugrunde gelegen hat, aus den Schnitten dieser Kugel nachträglich noch Schlüsse ziehen (Fig. 18a und b).

Damit haben wir die Sphäre der reinen Mathematik bereits verlassen und sind auf das konstruktionelle Gebiet des Statikers und des vergleichenden Anatomen übergetreten. (Fortsetzung siehe unter mathematischer Evolution.)

2. Weitere Untersuchungen und Darstellungen auf der Medianebene.

So wertvoll die Resultate auch gewesen sein mögen, welche uns die rein mathematischen Untersuchungen und Deduktionen auf Γ_1 bereits geliefert haben, so müssen wir doch im weiteren Verlauf unserer Studien über Kausal-Analyse der Beckenform zunächst wieder davon abgehen. Unser Ziel geht ja dahin, nicht nur die Form als solche möglichst genau festzustellen, sondern auch darnach zu forschen, einerseits wie sich diese Form gebildet und welche treibenden und formenden Kräfte bei ihrem Aufbau tätig gewesen, sowie anderseits auch zu eruieren, welche ursächlichen Momente der Konstanz der Form zugrunde liegen mögen.

Es ist von mir bereits verraten worden, daß das Kreissystem, das wir auf der Γ_1-Ebene gefunden, auch auf den anderen Projektionsebenen aus der Wiederkehr gewisser Proportionswerte erkannt werden kann, daß es somit einem ideellen Kugelsystem angehört. Es wäre nun wohl durchaus logisch, wenn wir der Γ_1-Projektion sofort die Projektion unserer Beckenform auch auf die übrigen Γ...-Ebenen folgen ließen. Dennoch ziehen wir es vor, zunächst noch einen anderen Weg zu betreten. Bis anhin hatten wir die Projektionspunkte auf Γ_1 als rein mathematische Punkte betrachtet, und sie in ihrer gegenseitigen Lage trigonometrisch möglichst genau zu bestimmen und zu ordnen gesucht. Indem so jeder Projektionspunkt zuförderst nur als mathematische Größe aufgefaßt worden und unser Bestreben nur dahin gerichtet war, diese Punkte in einem geometrischen, also rein mathematischen System unterzubringen, so wurde dabei jede morphologisch-anatomische oder funktionelle Bedeutung des projizierten Beckenpunktes außer acht gelassen. Und wenngleich wir unser Ordinatensystem bereits im Sinne des Vertikalismus am Becken orientiert hatten, so gab es doch bei diesen rein mathematischen Untersuchungen kein „Oben“ und kein „Unten“, kein „Rechts“ und „Links“ weder ein „Vorne“ noch ein „Hinten“. Diese Begriffe tauchten erst auf, als wir mit unserem System auf die Beckenkugel und ihre Konstruktion zu sprechen kamen, d. h. sobald als unsere Projektionspunkte nicht mehr bloß mathematische Systempunkte waren, sondern zu solchen einer bereits konstruierten und

statisch bestimmten Körperform von nicht homogenem Gefüge wurden. Den konstruktionellen Aufbau dieser inhomogenen Körperform zu erforschen aber haben wir uns zur Aufgabe gemacht.

Dabei muß tunlichst die Form als Ganzes ins Auge gefaßt werden. Es wäre daher als unstatthaft zu bezeichnen, wollte man im Sinne der deskriptiven Anatomie vorgehend System für System einzeln für sich betrachten. Man hat vielmehr von einfachern Entwicklungsformen ausgehend auch diese tunlichst als Ganzes zu betrachten und darauf zu achten, in welcher Weise und unter welchen mechanisch-statischen Einflüssen sich diese Gesamtform verändert.

Dabei darf ein Faktor nicht außer acht gelassen werden. Es ist die innere Belastung, der Innendruck, hervorgerufen durch die Expansion innerer Gase und Atmungsluft, wie durch die Schwerkraft der Nahrung und der Exkrete, inklusive der werdenden Frucht usw. Die Mechanik der inneren Organe ist bis anhin mit Unrecht in diesen statischen Fragen zu sehr vernachläßigt worden. Wir werden daher inskünftig bei den Untersuchungen über die Körperform und ihre Entstehung auch die Lage der Eingeweide mit berücksichtigen müssen. Man hat — wie schon GOETHE (Osteologie, Vort. 2) sagt — „nicht nur auf das Nebeneinandersein der Teile zu sehen, sondern auf ihren lebendigen wechselseitigen Einfluß, auf ihre Abhängigkeit und Wirkung." Die Nichtbeachtung dieses Fundamentalsatzes, sowie eine allzuweit gehende Spezialisierung und Systematisierung scheinen die Wissenschaft vielfach auf Abwege geleitet zu haben.

Ist denn die Körperform nicht in jedem Momente der Entwicklung aufzufassen als das Resultat einer Menge stetig sich ausgleichender Spannkräfte? — Auch die geringste Kraft ist imstande, bei nachhaltiger oder länger andauernder Wirkung Lage- und Gestaltsveränderung hervorzurufen. Diesen Satz hat man sich bei der Beurteilung der Struktur einer höchst kompliziert zusammengesetzten, organischen Körpersubstanz, wie sie der menschliche Körper darstellt, ebensogut ins Gedächtnis zurückzurufen, wie bei derjenigen einer einfachern, technisch gebräuchlichen Substanz z. B. Stahl, Eisen, Holz u. dgl. Bevor wir also unsere mathematischen Untersuchungen auf den weitern Projektionsebenen fortsetzen und versuchen, aus ihren Resultaten heraus die Form technisch zu rekonstruieren, bedürfen wir zuerst einiger kurzer Exkurse in benachbarte Grenzgebiete, die freilich zum Teil diametral auseinander zu liegen scheinen.

Die wissenschaftlichen Grenzgebiete, in welche zur Erreichung unserer Aufgabe kleinere Streifzüge zu unternehmen wir uns genötigt sehen, sind hauptsächlich folgende:

Entwicklungsgeschichte der menschlichen Frucht von dem Zeitpunkt der Schließung des Beckenringes ab;

Vergleichende Anatomie und Statik der Wirbeltiere; Experimentelle Physik und technische Konstruktion.

All diese Exkursionen werden wir selbstverständlich nur soweit ausführen, als sie im Interesse der Beckenforschung liegen. Wir werden uns dabei wieder von den Direktiven des Dichterfürsten leiten lassen, die uns vorschreiben, stets auf die gegenseitige Abhängigkeit und Wirkung zu achten. Und die Ergebnisse dieser Expeditionen? — Sie sollen nicht nur unter sich in einem logischen Zusammenhange stehen, sondern auch zugleich in Einklang gebracht werden können mit dem von uns auf Γ) bereits gefundenen mathematischen System. Dies letztere soll damit zur Grundlage werden für die Rekonstruktion der Form. Dabei hätten wir durch Übertragung der darstellenden Geometrie in das Gebiet der Körperforschung eine neue äußerst präzis arbeitende Untersuchungsmethode gewonnen, auf deren Zuverlässigkeit wir uns voll und ganz verlassen dürften.

a) Medianschnitte von menschlichen Früchten.

Wir gehen von den Untersuchungen LITZMANNS und FEHLINGS aus (siehe Einleitung) und fügen denselben einige Beobachtungen hinzu, die wir an eigenem Material gewonnen haben und die sich auf gewisse Punkte beziehen, welche von den beiden Autoren nicht genügend beachtet oder nur ungenügend beurteilt worden sind.*)

Wenn auch die Benützung von Schnittpräparaten jeder Art für unsere Untersuchungen sehr viele Nachteile mit sich bringt, so wird sie doch als Hilfs- und Kontrollmethode neben der sicheren Projektionsmanier immer ihre Berechtigung haben. Ja in der Embryologie kann sie aus naheliegenden Gründen allein herrschend bleiben, da hier wegen der Kleinheit der Verhältnisse des Untersuchungsmaterials die Fehlerquellen der Projektionsmanier, auch wenn sie sich durchführen ließe, viel zu groß würden, als daß man beispielsweise trigonometrische Berechnungen darauf stützen könnte.

Was die Untersuchungen an Leichen von Erwachsenen anbetrifft, so hat auch hier die Schnittmethode der neuen darstellenden Projektionsmanier gegenüber entschiedene Nachteile:

1. Läßt sich in der Regel an einer Leiche in ein und derselben Körpergegend nur ein einziger Schnitt durchführen. Das Objekt ist zerstückelt und ist damit für weitere Schnitte, die doch, zur Erforschung der räumlichen Ausdehnung desselben nach andern Raumdimensionen hin geführt, unerläßlich wären, unbrauchbar geworden. Dadurch ist das Gewinnen genauer mathematischer Korrelationen nach verschiedenen Richtungen des Raumes hin bis heute geradezu ausgeschlossen gewesen.
2. Die Schnittführung muß sehr exakt durchgeführt werden, ansonst viel Material nutzlos vergeudet wird. Die Methode wird dadurch sehr umständlich und kostspielig und kann auf die Genauigkeit einer mathemathischen Untersuchungsmethode doch keinen Anspruch machen;
3. Durch die Anwendung verschiedener Erhärtungs- und Füllungsmethoden wird Form und gegenseitige Lage der innern Körperorgane, die mit ihrem Inhalt verschiedengradig gefrieren oder sonst erhärten, verändert und verschoben. Der „lebendige wechselseitige Einfluß" ist daher aus den Bildern starrer Gefrierschnitte heraus nur schwer zu erkennen, und es wird einer größeren Anzahl von vergleichenden Schnitten oder aber der Ergänzung durch das lebendige physikalische Experiment bedürfen, um diesen Einfluß festzustellen.**)

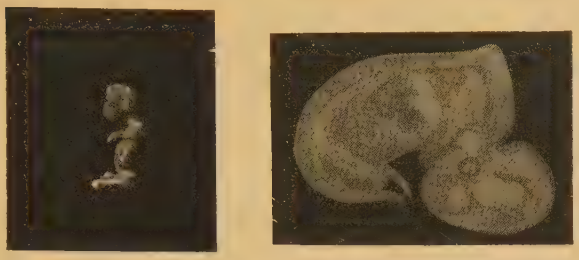
FEHLING hat auf seinen Medianschnitten hauptsächlich die Deformitäten der Lendenkreuzbeinwirbelsäule studiert und dabei nachgewiesen, daß vom 3. intrauterinen Monat ab bei der menschlichen Frucht eine doppelte Abbiegung zu konstatieren ist, nämlich eine nach vorn konvexe zwischen Lenden- und Kreuzbeinwirbelsäule und eine im entgegengesetzten Sinne nach vorn konkave zwischen Kreuzbein- und Steißbeinabschnitt. Als Erklärung für diese Erscheinung nimmt FEHLING noch „das spezifische Wachstum der Knochen" an. Auf unseren Schnitten (siehe Fig. 20—25) sieht man die Beobachtungen FEHLINGs bestätigt, wenngleich auch nicht alle Präparate eine gleich starke Abbiegung aufweisen. Die vordere obere, die Lendenverbiegung scheint stets auch die stärkere zu

*) Die Präparation und das Anlegen der Medianschnitte unserer Früchte verdanke ich der Freundlichkeit von Herrn Professor KOLLMANN in Basel. Es sind größtenteils Medianschnitte von 3 bis 10monatigen Früchten und ausgewachsenen Neugeborenen.

**) Siehe auch ROHDE, CARL. Beitrag zur Syntopie der Organe des Oberbauchraumes. Anatom. Anz. 54. Bd. 1921. S. 448.

sein. FEHLINGs Schüler, LAMMERs, führt die Ursachen der Promontoriumsbildung auf die fötale Bewegung zurück (Hegner Vort. Band IX).

Aber wir wenden vorerst unser Augenmerk noch auf andere Punkte



a) ca. $^2/_3$ natürl. Größe. b) Vergrößerte Zeichnung.

Figur 20.

Menschliche Frucht aus der achten Woche.
Kopfsteißlänge 3,6 cm.

hin, auf Punkte, die vorzugsweise die Form des Beckenringes betreffen. Eine vermehrte Aufmerksamkeit gebührt diesem morphologischen Gebilde, wie bereits erwähnt, schon deshalb, weil es später

Medianschnitte durch das Beckenende einer menschlichen Frucht.

Figur 21.
Fünfter Monat.
Kopfsteißlänge 17,0 cm. Länge 24,5 cm.

Figur 22.
Sechster Monat.
Kopfsteiß 18,0 cm. Länge 25,5 cm.
Blase und Mastdarm injiziert.

Figur 23.
Sechter Monat.
Kopfsteißlänge 18,0 cm. Länge 27,5 cm.

am Rumpfe zum Befestigungsapparat für die Träger desselben wird. Technisch aufgefaßt ist dieser wesentliche Beckenteil als Ring- oder Rohrstück aufzu-

Figur 24.
Sechster Monat.
Kopfsteiß 18,0 cm. Länge 26,0 cm.

Figur 25.
Neugebornes.
Kopfsteiß 31 cm. Länge 41 cm.

fassen, das derart in die Wirbelsäule eingelassen ist, daß es gleich wie der Brustkorb als stehengebliebene Teile einer geschlossenen Röhre erscheint, bei welcher das Mittelstück (Bauchteil *a*) bis auf einen schmalen Streifen (*w*) herausgeschnitten ist.

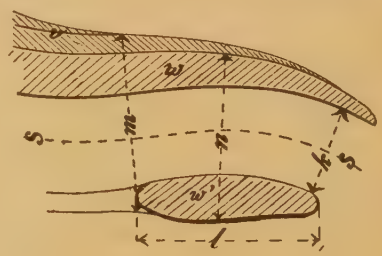
Die Proportionen der Längs- und Quermaße des fötalen Beckenrohres und der Frucht.

Es ist von Interesse, folgende Verhältnisse festzustellen:

1. *Die genetische Formbildung des Rohrlumens* und den Verlauf seiner Achse (Seelenachse *S-S*).
2. *Das Verhältnis der Rohrweite* (Kalibergröße *k*) *zur Dicke der Rohrwandung* (ω, ω'), sowie zur einseitigen Rohrverstärkung (v, Columna spinalis);
3. *Das Verhältnis der Länge des Rohrstückes b zum Rohrdurchmesser inkl. Verstärkungsring* (Fig. 26 und 27):
$$l:m\ ;\ l:n\ ;\ l:k.$$
4. *Die relative Lage des Beckenrohres zum Rumpfende.*

B. S. 14. *a)* ad 1. **Das Beckenrohr der menschlichen Frucht besitzt weder beim männlichen, noch beim weiblichen Geschlecht eine deutliche Ausweitung.** Es stellt ein einfaches Zylinderrohr dar, das, wenn auch etwas gebogen, doch überall so

Figur 26.
Die zylindrischen Rohrstücke *b* und *c* an der Seelenachse *ss*, $\omega+\omega'$ Rohrwand; *v* Verstärkungsgrat.



Figur 27.
Das gekrümmte zylindrische Beckenende. Erste, fötale Beckenformierung beim Menschen.

Darstellung der Beckengenese.

ziemlich die gleichen Durchmesser aufweist und somit mit dem Winkelstücke eines leicht gebogenen Ofenrohres vergleichbar ist.

b) ad 2. Unsere Medianschnitte ergeben folgende absolute Durchschnittswerte, wobei l = Rohrlänge, k = Kalibergröße, n = Kaliber + Symphysendurchschnitt + Kreuzbeinkörper ($k+\omega+\omega'$) und m = Kaliber $k+\omega+\omega'+v$ sein sollen.

Tab. IIa. ## Tabelle II[a].

Alter der Frucht	Kaliberweite des Beckens k	Kaliberweite und Wanddurchschnitt n $k+\omega+\omega'$	Gesamtdurchmesser m $k+\omega+\omega'+v$	Dicke der Wand ω	ω'
Im 5. Monat	9 mm	14 mm	16 mm	$2^1/_2$	2
Im 6. Monat	13 mm	21 mm	25 mm	3	3
Im 6. Monat	13 mm	21 mm	25 mm	4	4
Im 6. Monat	15 mm	22 mm	26 mm	$4^1/_2$	4
Im 10. Monat	30 mm	41 mm	49 mm	5	5
Im 10. Monat	31 mm	43 mm	50 mm	$4^1/_2$	$4^1/_2$
Summa	111 mm	162 mm	191 mm		

Das Verhältnis der drei erstgenannten Werte zueinander scheint also überraschenderweise bei fortschreitendem Wachstum der menschlichen Frucht ein konstantes zu sein, das sich in ganzen Zahlen ausgedrückt etwa verhält wie:

$$k : n : m = 7 : 10 : 12,$$ B.S. 15.

wobei zu bemerken ist, daß ω und ω' dabei ziemlich je gleiche Dicke haben. Je größer die Kaliberweite wird bei zunehmendem Wachstum der Frucht, umso stärker auch die Rohrwandung (siehe Fig. 18b).

c) ad 3. Das Verhältnis der Symphysenlänge l zum Beckenrohrdurchmesser k ist aus folgenden Maßen ersichtlich:

Alter der Frucht	Symphysenlänge l	Beckendurchmesser m	Verhältnis
Im 5. Monat	10 mm	15—16 mm	2 : 3
Im 6. Monat	8—10 mm	25—26 mm	1 : $2^1/_2$
Im 10. Monat	16 mm	49—50 mm	1 : 3

Tabelle II^b. Tab. IIb.

Am Neugeborenen habe ich folgende Maße direkt gemessen:		
Präparat	Vertebr. prom.-Steißbeinspitze	Bauchumfang
Nr. 1	20 cm	34 cm
Nr. 2	18 cm	31 cm
Nr. 3	20 cm	32 cm
Nr. 4	23 cm	33 cm
Nr. 5	22 cm	31 cm
Nr. 6	23 cm	30 cm
	126 : 6	191 : 6π
Durchschnittlich	21 :	Durchmesser 10,13 = 2r

Das Verhältnis der Längsachse der Rumpfspindel : ihrer Querachse beträgt also beim Neugeborenen rund $2 : \frac{1}{2} \cdot = 4r : 1r$.

Aus dem Vergleich dieser Maße geht deutlich hervor, daß sich beim Menschen **die relative Länge des Beckenrohres bei fortschreitendem Wachstum der Frucht wohl um die Hälfte verkürzt,** und daß diese relative Verkürzung bzw. Wachstumshinderung in der Längsrichtung der Symphysenachse hauptsächlich in den früheren Monaten zu konstatieren ist. B.S. 16.

Die so aus Durchschnittszahlen und aus ganz kleinen Verhältnissen herausgefundenen Werte können selbstverständlich nicht denselben Anspruch machen auf mathematische Genauigkeit. Immerhin sind sie uns wegleitend für die Beurteilung der relativen Verhältnisse im Wachstum und in der Formierung des Beckenringes. Was speziell dem erwähnten 4. Punkt der Relation auf der Medianebene des Beckenringes anbetrifft, die relative Länge des Symphysendurchschnittes zu den übrigen Punkten der Beckenwirbelsäule, so gilt das eben Gesagte hier noch in vermehrtem Maße. Die Ungenauigkeit der Schnittmanier tritt hier recht deutlich hervor und insbesondere wäre es gänzlich unzuverlässig, an solchen Schnitten Winkelmessungen vornehmen zu wollen. Solche Winkelmessungen lassen sich jedoch konstruktionel sehr wohl ausführen, sobald man auf Grund präziser An-

nahmen die notwendigen Grundlagen für die Berechnung geschaffen hat. Dabei geht Eines für diesen Punkt Bemerkenswerte aus der bloßen Betrachtung einer jeden menschlichen Frucht, wie auch des neugeborenen Kindes hervor.

B.S. 17. *d)* ad 4. **Das Kaudalende der Frucht und des Neugeborenen** ist beim Menschen **auffallend spitz** zu nennen, gegenüber der Steißgegend eines Erwachsenen (vgl. auch SYMINGTON, Atlas, Tafel 1, sowie oben Fig. 24 u. 25).

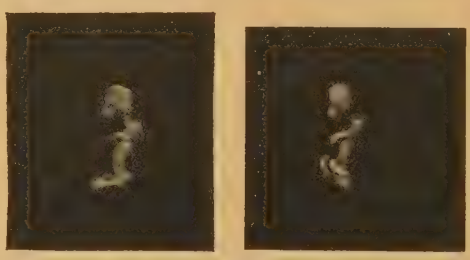
Nun dürfen wir aber auch *die relative Lage der Beckenorgane zum Beckenring selber* nicht außer acht lassen.

Es geht dabei aus unseren Medianschnitten die wichtige Tatsache hervor, die übrigens auch schon von TAKAHASI, SYMINGTON u. a. erwähnt wurde, daß

B.S. 18. *e)* **bei der menschlichen Frucht wie beim Neugeborenen die Urinblase** oder besser gesagt: der ausgeweitete Urachusschlauch größten Teils **sich noch oberhalb der Symphyse, also in der Bauchhöhle befindet.** (s. Fig. 21, 22, 24.) Dieses Lageverhältnis soll selbst im zweiten Lebensjahr des Kindes noch zu konstatieren sein (TAKAHASI).

Verfolgen wir in ähnlicher Weise die Entwicklungsgeschichte der menschlichen Frucht noch weiter zurück bis in jene Zeit, wo das ganze Skelett noch als weiche hyaline Knorpelanlage vorgebildet erscheint!

Der menschliche *Embryo vom Ende des 2. Monats* (Fig. 28) (Kopfsteißlänge, Rückenmaß gebogen 36 mm, direkte Rumpflänge 21 mm, Bauchdurchmesser 11 mm) führt uns wieder auf ganz neue Gedanken. Es ist hier weniger das Verhältnis der Länge zum Querdurchmesser der Form, das uns beim Anblick dieser Frucht hervorstechend in die Augen fällt, als vielmehr die Relativität in Härte und Konsistenz der einzelnen Körperpartien zueinander. Wir sehen, ohne daß wir vorerst hinfühlen, um eine resistente, dunkelbraun-violett durchschimmernde Kugel von 9—10 mm Durchmesser die ganze übrige Leibesmasse in weicher, durchscheinend hyaliner Konsistenz und Form gelagert. Der gegenseitige Unterschied im Härtegrad und der Konsistenz der beiden Gebilde zeigt sich noch deutlicher im beginnenden Mazerationszustande der Frucht, wo die Kugel ihre Form noch lange bewahrt, wenn die übrige weiche Körpermasse längst im Zerfall begriffen ist. Und doch findet man in dieser letzteren die Anlagen



a Figur 28. b

Menschliche Frucht aus der achten Woche.
ca. $^2/_3$ natürl. Größe. Kopfsteißlänge 3,6 cm.

B.S. 19. des Skelettes schon deutlich ausgebildet: **Die Rückenwirbelsäule erhält so über die resistentere zentrale „Leistkugel" gewölbt, eine nach außen (rückwärts) gehende Konvexität. Die untern Rippen des Brustkorbes wie die Darmbeinschaufeln des Beckenringes werden mützenförmig vorne und hinten über die Kugel angedrückt und erhalten damit die erste natürliche Anlage ihrer später bleibenden Form.** Dabei ist aber das zeitliche Moment sowohl wie die relative Lage von Kugel- und Skelettanlage wohl zu beachten. Die Kugel, die beim menschlichen Fötus aus der Verschmelzung von Herz, Leber und Milz entstanden ist, ballt sich erst nach dem zeitlichen Schließungsmoment der beiden Quergurtenanlagen des Rumpfes: des Brustringes und des Beckenringes, zusammen. Dem entstandenen Brustring ist sie eingelagert, dem weiter erntfernten Beckenring dagegen vorgelagert. — Nur beim menschlichen Fötus

kommt es im zweiten Monat zur Bildung der „Leistkugel"; bei den Primaten bilden Leber und Herz im entsprechenden Entwicklungsstadium noch deutlich getrennte Kugeln (BLUNTSCHLI).

Dieser Satz aber hat die weitgehendsten Konsequenzen. Sobald man einmal zugeben muß, daß der härtere Körper im fortschreitenden Wachstum die Form des benachbarten weichen beeinflußt, vorausgesetzt, daß beide unter einem gemeinsamen raumbeengenden Drucke stehen. Die Annäherung des geschlossenen Beckenringes an die Leistkugel aber wird in einem gewissen Momente der Fruchtentwicklung dadurch ermöglicht, daß zu dieser Zeit die Anlage des Darmtractus noch zurückgeblieben ist. Durch die spätere Ausbildung dieses letztern erst werden Ring und Kugel wieder voneinander abgetrieben. Auf die wichtigen Formveränderungen, welche aus der Wechselwirkung von Kugel und Beckenring notwendig hervorgehen müssen, kommen wir in Bälde zu sprechen. Vorerst einen Blick noch tiefer in die Ontogenese hinein! Ohne weitern Kommentar bringen wir in Fig. 29 *A, B, C* drei etwas schematisch gehaltene Abbildungen des Beckenendes eines weiblichen, menschlichen Embryos. Da nach LITZMANN u. a. selbst beim Neugeborenen

Figur 29 *A, B, C.*
Die Verkürzung des Beckenendes einer weiblichen Frucht beim Menschen.
c. Kloake, *b.* Blase, *u.* Uterus, *d.* Mastdarm.

die Geschlechtsunterschiede an der Beckenform geringe und in mehreren Punkten den späteren Verhältnissen sogar entgegengesetzte sind, so habe ich geglaubt, bei der Untersuchung der genetischen Verhältnisse die Früchte beiderlei Geschlechts zusammenfassen zu dürfen. Ich tat es, um später bei der Betrachtung der weiblichen Beckenform davon gänzlich Umgang nehmen oder nur das Notwendigste in der geschlechtlichen Differenzierung der Form hervorheben zu können.

Die drei Bilder in Fig. 29 bringen wir, um uns das allmähliche Verschwinden der Kloake mit der allmählichen Verkürzung des Kaudalteiles der Wirbelsäule vor Augen zu führen und uns die Frage zu überlegen: Auf welche gemeinsamen mechanischen Ursachen haben wir beim menschlichen Embryo die Verkürzung des Beckenendes und das Verschwinden der Kloake zurückzuführen? — Erklären wir diese Tatsache besser durch ein allmähliches Herauswachsen der bindegewebigen Septen zwischen den praeexistierenden Eingeweidekanälen (spez. Wachstum), oder aber vielmehr durch Zusammenstoßen und Verbreitern derselben in Folge eines vermehrten Druckes und Gegendruckes in der Richtung der Längsachse der Frucht, wobei die plattgedrückten Septenwinkel als erste Dammbildung bereits mechanische Stützpunkte abgeben würden für die weitere Formbildung der Beckeneingeweide? — —

Diese Fragen stellen wir hierorts nur der Vollständigkeit halber auf. Wir werden sie später an anderer Stelle im Zusammenhang mit ähnlichen Fragen an Hand eines vollständigeren Beweismaterials zu beantworten suchen. Da die Tatsachen unwidersprochen sind, durfte ich sie in Satz 20 bereits als Beweismaterial herbeiziehen, wenn auch die Beweisführung nur erst auf logischen Schlüssen und nicht auf mathematischen Lehrsätzen beruht.

Damit verlassen wir das Gebiet der früheren Ontogenese des Menschen wie der Ontogenie überhaupt und fassen die hier gewonnenen Resultate in folgende Sätze zusammen:

B.S. 20. I. **Der Beckenendteil der menschlichen Frucht verkürzt sich in relativ vermehrtem Maße mit fortschreitendem Wachstum derselben.** — Diese vermehrte Verkürzung der Form in der Richtung der Längsachse manifestiert sich in folgenden Tatsachen:

a) Verkürzung des Kaudalteiles der Wirbelsäule;
b) Verschwinden der Kloake und
c) Verschmälerung des Beckenringes (relative Verkürzung der Symphysenhöhe).

II. Das Beckenrohr zeigt: Auf dem Medianschnitt bis nach der Geburt der Frucht parallel laufende Wandungen. Seine Form entspricht einem leicht gebogenen Zylinderrohr. Wir haben also noch keine namhafte Ausweitung des Rohres in diesen Stadien der Entwicklung vor uns.

III. Die Verhältnisse von Rohrkaliber, Dicke der Rohrwandung und Verstärkungskamm bleiben sich im fortschreitenden Wachstum der Frucht konstant. (7 : 10 : 12. Tab. II[a].)

IV. Die ersten Skelettanlagen der Frucht werden über der resistenteren Bauchkugel geformt (8. Woche).

V. Vom dritten Monat ab, d. h. nach Schließung des Beckenringes, sind bei der menschlichen Frucht Deformierungen an der Beckenwirbelsäule zu konstatieren und zwar:

a) Je eine Abknickung vor und hinter dem Beckenring,
b) eine Abbiegung des Beckenrohres selber.

VI. Blase, bzw. Blase mit Uterus befinden sich beim menschlichen Neugeborenen noch oberhalb des Beckenringes in der Bauchhöhle.

Diesen wenigen Untersuchungen aus der Ontogenese des Menschen wollen wir nun gleich solche aus der *vergleichenden Anatomie und Physiologie* anschließen.

Wir heben dabei selbstredend wieder nur diejenigen Punkte hervor, die nach der obigen Zusammenstellung wesentlich von den Verhältnissen bei der Spezies homo abweichen, und die gerade deshalb für unsere Beckenstudien von Interesse sind. Dabei können wir uns der allergrößten Kürze befleißigen, indem wir per exclusionem vorgehend die Frage beantworten: Findet man auch bei Wirbeltierarten den obigen analoge Verhältnisse? — Bei welchen Spezies sind solche einzeln oder in Gruppen vorhanden? —

Die Antwort auf die Frage lautet:

B.S. 21. 1. ad I. Alle die unter I a, b, c fallenden Erscheinungen sind für die Spezies homo einzig allein charakterisch. Es sind **spezifische Art-Merkmale,** und wohl auf ein mechanisches Moment zurückzuführen.

2. ad II. Bei allen Säugern weist der Medianschnitt durch den Beckenendteil nicht nur beim Neugebornen, sondern auch zeitlebens eine relativ langgestreckte zylindrische Beckenform auf, wie sie auch dem Menschen zur Zeit der Geburt

zum Teil noch eigen ist. Wir müssen aber vorwegnehmend bemerken, daß sich beim Menschen diese Verhältnisse nach der Geburt noch wesentlich ändern, wie aus der Projektion des Beckens des Erwachsenen hervorgeht.

3. ad III. Die Proportionen von Kaliber und Wandstärke des Beckenrohres müssen durch Untersuchungen für jede Tierart besonders festgestellt werden. Für unsere Untersuchungen mag es vorläufig genügen, die Verhältniszahlen für das menschliche Becken festgestellt zu haben.
4. ad IV und V. Diese Erscheinungen kommen in solchem Grade nur bei der menschlichen Frucht vor und sind als spezifische Art-Merkmale zu bezeichnen.
5. ad VI wie ad II. Wie aus II und IV hervorgeht, spielt das mechanische Kausalmoment für die Formbildung des Beckenendes beim Menschen seine Rolle auch über den Zeitpunkt der Geburt hinaus und zwar sowohl in Ontogenie wie in Phylogenese, bzw. individuell wie generell.

Forschen wir nun zunächst nach den Ursachen der charakterischen Merkmale des Menschen, wie wir sie aus der Ontogenie unter I, IV und V kennen gelernt haben! —

Alle die hier angeführten Erscheinungen und Merkmale sind **die alleinigen Folgen einer relativen Verkürzung des Beckenendteiles,** wie wir sie in diesem Grade beim Menschen allein finden. Für eine analoge Erscheinung am anderen Körperende, für die Entstehung der Gehirnform hat HIS schon 1874 bereits die gleiche Erklärung gegeben. B.S. 22.

Was aber für einzelne Teile der Körperform zutrifft, die zudem räumlich auseinander liegen, sollte es nicht auch für das Ganze gelten, d. h.:

Sind nicht alle eigenartigen, also spezifischen Art-Merkmale des Menschen in ihrer Gesamtheit, also die Formbildung des ganzen menschlichen Körpers durch ein und dasselbe mechanische Moment bedingt, wie wir es am Beckenende nachgewiesen haben? —

Wir legen uns also die spezielle Frage vor: Können nicht auch die unter IV und V verzeichneten und allfällig noch andere anthropomorphe Merkmale wie z. B. die Verkürzung des Gesichtsteiles am Kopfe usw. durch dasselbe Kausalmoment erklärt werden, welches die für den Menschen charakteristische Umformung am Beckenendteil wie am Gehirn zur Folge hat, nämlich durch relativ vermehrte Verkürzung der Längsachse der Frucht? —

Würde diese Frage wirklich bejaht und der Nachweis geleistet werden, so müßte dieses Moment, durch welches die Entstehung sämtlicher Art-Merkmale hervorgerufen würde, wie sie das Individuum bei der Geburt aufweist, ohne weiteres auch als die eigentliche Grundursache der Anthropogenese selber angesprochen werden, wenngleich auch an diesem Individuum nachträglich noch eine Anzahl von Formveränderungen auftreten, die wir sub. II und VI ebenfalls als charakteristisch für die Spezies homo angesehen haben d. h.:

Die Ontogenese des Menschen ist ebensowenig wie seine Phylogenese mit dem Zeitpunkt der Geburt des Individuums zum Abschluß gekommen; denn zum entwicklungs- wie stammesgeschichtlichen Begriff „Mensch" gehört vor allem die „aufrechte Körperhaltung". B.S. 23.

Müßte jedoch die Frage verneint werden, d. h. stellte es sich heraus, daß die noch nach seiner Geburt an dem menschlichen Individuum charakteristischerweise auftretenden Merkmale: die Beckenausweitung, die Senkung der Blase ins Beckenlumen hinein, sowie die Aufrichtung der Rumpfform nicht durch ein und dasselbe Kausalmoment erklärt

werden könnten, wie die Entstehung der intrauterin auftretenden anthropomorphen*) Merkmale, so wäre eine andere Möglichkeit nicht ausgeschlossen: Die postfötalen Erscheinungen könnten noch die Folge sein der beobachteten fötalen, obgleich ihnen ganz andere mechanische Vorgänge zugrunde lägen, als diesen. Aber auch in diesem speziellen Falle wäre der Kausalkonnex der Anthropogenese hergestellt unter der einzigen Vorraussetzung freilich, daß die Erklärung dieser Vorgänge ebensowohl ontogenetisch wie phylogenetisch annehmbar wäre und — falls mehrere Kausalmomente vorhanden sein sollten — sie bei beiden Entwicklungsreihen in der nämlichen Reihenfolge auftreten würden.

b) Die Grundform der menschlichen Frucht.

Untersuchungen über das Zustandekommen der „aufrecht" stehenden und „aufrecht" gehenden Körperform des Menschen erheischen zunächst unbedingten Hinweis auf die statischen Verhältnisse bei den übrigen Wirbeltieren, insbesondere bei den Vierfüßlern und der zweifüßigen Vogelwelt. Bei diesen Betrachtungen auch die Klasse der Reptilien und der Gattungen der wirbellosen Tierwelt heranzuziehen, wäre freilich äußerst interessant und lehrreich, — doch würden wir dabei Gefahr laufen, uns zu sehr in Einzelheiten zu verlieren. Vielleicht findet sich Gelegenheit später im Zusammenhang nochmals darauf zurückzukommen.

Zwei Hauptgedanken aber, die bei diesen vergleichenden statischen Untersuchungen wegleitend sein müssen, seien hier nochmals ausgesprochen. Wir wollen damit alte Fehler zu vermeiden suchen.

1. Auch in der Tierwelt sind Untersuchungen über die Statik nicht an einem einzelnen System, z. B. dem Knochensystem allein durchzuführen, sondern es sind tunlichst auch die anderen Systeme der Form wie vor allem das Ganze ins Auge zu fassen.

2. Der pflanzliche Organismus kennt nur einen Spannungsausgleich seiner Gewebe — nach einer Front — d. h. nach außen hin. Nicht so der tierische Organismus, welcher Teile der Außenwelt als Nahrung in unverarbeitetem Zustande und in größerer Menge in seine Leibeshöhle aufnimmt, um sie in verarbeitetem Rückstande als Exkrete wieder abzugeben. Dieser Ausgleich vollzieht sich also hier nach zwei Fronten hin („innere und äußere Außenwelt"). Man hat daher bei der Statik des tierischen Körpers stets eine „innere und eine äußere Belastung" zu unterscheiden. Dieser Unterschied ist ein prinzipieller und durchgehender zwischen dem Tier- und Pflanzenreich.

Der wichtigste Teil des Organismus, was vitale Funktion und Statik anbetrifft, bildet nun für alle Tiergattungen unstreitig der Rumpf. Dabei ist es gleichgültig, ob das Zentralorgan für die Auslösung der Reize — ich meine das Zentralnervensystem — in der Rumpfform inbegriffen sei, wie z. B. bei den Fischen, oder aber ob es mehr oder weniger von derselben abgeschnürt in einer eigenen Kapsel ruht; funktionell wie statisch ist das von nebensächlicher Bedeutung.

Diese Auffassung teilt im Grunde auch schon die Theorie HERMANN MEYERs, die von den neuern Anatomen und Statikern angenommen und ausgebaut worden ist. Auch wir haben uns auf diesen Boden gestellt, obgleich der Autor sie in seinen statischen Untersuchungen zum Teil wieder hatte fallen lassen.

Nach dieser Theorie bildet die „Grundgestalt der Rumpfwandung beim Vierfüßler wie beim Menschen der muskulose Schlauch, in dessen Substanz die Knochen nur als modifizierende Einlagerung erscheinen" (H. MEYER). Wir werden später dazu kommen, diese Theorie in gewissem Sinne umzugestalten.

*) Ich gebrauche diesen Ausdruck hier absichtlich, um ihn etymologisch richtig wieder für die Anthropologie zurückzugewinnen.

BOSTON MED... APR 30 1923

HANS STRASSER, welcher in seinem 1913 erschienenen Lehrbuche über „Muskel- und Gelenkmechanik" die vereinfachende Vorstellung H. MEYERs ebenfalls teilt, indem er die Schlauchtheorie mechanistisch zur *Ballontheorie* ausbaut (S. 446), vergleicht das Konstruktionsprinzip der Stammeswand des Quadrupeden mit einem länglichen Ballon halbstarren Systems und bezeichnet so den gebogenen Rückgrat der Wirbelsäule *R* (Fig. 30) als Druckbaum, während die untere oder Ventralseite *V* der Rumpfwand als eine hängende Kette oder „Längsgurte" erscheint, in welcher starre und weiche Abschnitte aufeinander folgen.

Die erwähnte Ballon- oder Spindelform als Grundform des Rumpfes finden wir nun auch beim Menschen leicht erkennbar und deutlich ausgesprochen bei seiner Geburt und auch noch monatelang nach derselben. Der dicke Bauch kontrastiert beim Neugebornen sonderbar mit den beiden spitzen Rumpfenden, und die Extremitäten sitzen noch als relativ kleine Stummeln an dem unförmlichen dicken Rumpf. Auf das stark zugespitzte hintere Leibesende mache ich hier nochmals besonders aufmerksam, sowie auch darauf, daß **Rücken- und Bauchkrümmung ungefähr den gleichen Radius haben.** Den **B.S. 24.** großen Kopf lassen wir vorderhand außer Betracht.

Indes tritt die spindelförmige Grundform des menschlichen Rumpfes nicht erst bei der Geburt auf! Sie läßt sich am menschlichen Embryo rückwärts verfolgen bis zum Ende des zweiten Monats, d. h. bis in die Zeit, wo sich Herz, Milz und Leber zu jener großen Kugel vereinigt haben, die wir oben mit dem neutralen, mechanistisch aber bezeichnenden Namen „Leist- oder Zentralkugel" belegt haben.

Ontogenetisch genommen fällt also die Bildung der Grundform des menschlichen Rumpfes, des Hauptbestandteiles des Körpers, in die frühe Zeit der Fruchtbildung. Will man die mechanischen Ursachen dieser Formbildung erfahren, so müssen sie daher auf dem Gebiete der Embryologie selber gesucht werden. Wir dürfen also mit der Ergründung mechanistischer Probleme nicht erst am ausgewachsenen Menschen beginnen; sie hat vielmehr schon in den Entwicklungsstadien der Frucht einzusetzen.

Dabei hat man sich vor allem wieder über gewisse Proportionen der Form zu orientieren.

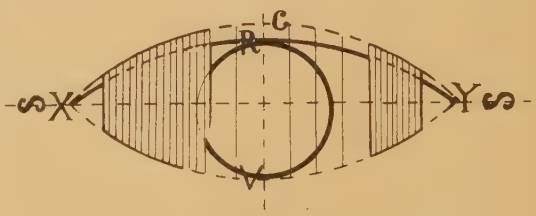
Was die Orientierung der Frucht im Raume anbetrifft, so kann sie in doppelter Weise ins Auge gefaßt werden: in Lagekorrelation mit dem Zentrum der Eikugel („Innere Orientierung") sowohl, als auch noch in Relation zu den Körperachsen des mütterlichen Organismus („Äußere Orientierung") — d. h. zu dem von uns angewandten Raumsystem der Beckenorientierung.

Die räumliche Orientierung der menschlichen Frucht in situ nach den Achsen des mütterlichen Organismus vorzunehmen, hat für unsere Untersuchungen keinen Zweck, und dies schon deshalb nicht, weil in früheren wie späteren Stadien der Entwicklung sowohl Richtung wie Lage der Fruchtachse zur Medianlinie der Mutter sich vielfach ändern. Für den Geburtshelfer dagegen ist die Bestimmung dieser „Lage der Frucht" vor der Geburt von der größten prognostisch-therapeutischen Bedeutung. Unter normalen Verhältnissen sind bekanntlich „Längslagen" der Frucht vorherrschend, und zwar mit tiefliegendem Kopf. Über die mechanischen Ursachen dieser Fruchtlagen und ihrer (pathologischen) Abweichungen wären die Lehrbücher der Geburtshilfe nachzusehen.

Auch die zweite Orientierungsweise der Frucht, die sich auf die Lage derselben im Ei selber bezieht, scheint für uns von vorneherein ohne jede Bedeutung und würde nur mit großer Mühe durchführbar sein. Eines freilich wollen wir hier konstatieren, das als selbstverständlich in den Büchern der Anatomie und Entwicklungslehre kaum einer Bemerkung gewürdigt zu werden scheint: Lange und mühevolle Studien haben ergeben, daß auch die erste Anlage der menschlichen Körperform, gleich wie beim Säugetierembryo, in

der Faltenbildung einer schildförmigen, verdickten Stelle (Fruchthof, Keimscheibe, Embryonalfleck) der Keimblasenwand liegt; sie entsteht durch Verschmelzung der Deckenschicht mit der darunterliegenden verdickten Zellschicht. Mit der Bildung einer solchen Längsfalte (Urmundfalte, Medullarrinne, Medullarwülste) ist die Orientierung der Frucht gegeben. Es ist wiederum die äußere Orientierung, die man bis anhin vorzugsweise vom geburtshelferischen Standpunkt ins Auge gefaßt hat und die, wie bereits betont, für uns wertlos ist, da sie ja bis in die letzte Zeit der intrauterinen Fruchtentwicklung häufig wechselt.

Weit wertvoller dagegen scheint mir die „innere Eiorientierung" für die Beurteilung embryonal-konstruktioneller Fragen zu sein, d. h. Untersuchungen darüber, welche Lagebeziehungen die einzelnen Körperteile der werdenden Frucht zum Eizentrum wie zur Peripherie des Eies einnehmen. Das Aufsuchen dieser Relationen in der Eiform selber ist konstruktionell schon deshalb von Bedeutung, weil dem Embryo von seinen frühesten Stadien her eine gekrümmte, später — wie wir gesehen haben — eine spindelförmige Rumpfform zukommt.



Figur 30.
Die Grundform der menschlichen Frucht nach der Ballontheorie.

Die innere Versteifung dieser Rumpfform ist die Wirbelsäule. Sie liegt peripherdorsal und entspricht im Konstruktionsprinzip nach Fig. 30 dem Druckbaum *R*, während die gegenüberliegende, dem Eizentrum zugekehrte Ventralseite der Stammeswand als Längsgurte zu betrachten ist H. STRASSER).

Nun haben wir bereits konstatiert, daß beim neugebornen Menschen die Krümmung der Rücken- wie der Bauchseite ziemlich gleich ist. Es haben also Druckbaum und Längsgurtenbogen denselben Radius. Ich werde inskünftig für diese Begriffe die Bezeichnungen „Rückenbogen" und „Bauchgurte" gebrauchen, wobei ich unter dem Namen „Rückenbogen" nicht nur die Wirbelsäule mit dem Verstärkungsgrat der Columna spinalis, sondern auch die zugehörende Rumpfmuskulatur einbeziehe, während der Ausdruck „Bauchgurte" das Sternum und den Symphysenteil des Beckens samt der dazwischenliegenden elastischen Längsgurte der Mm. recti umfaßt.

Die Tatsache, daß dem Neugebornen die gleiche Radienlänge für Rückenbogen und Bauchgurtenkrümmung zukommt, ist leicht zu erklären.

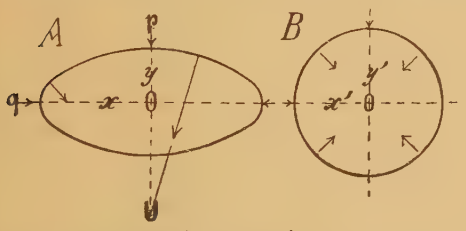
Das Wachstum der Frucht vollzieht sich durch Zellteilung und Zellvermehrung infolge dialytischer und osmotischer Stoffaufnahmeprozesse und innerer Apposition, die Organbildung durch Zelldifferenzierung und Zellvermehrung. Ist die Zelle oder auch ein größerer Zellkomplex von einer elastischen Membran umgeben, so zeigt diese infolge des inneren osmotischen Druckes eine gewisse Tension die mit wachsendem innerem Drucke zunimmt.

Es ist nun wieder die mathematische Grundform bei jeder Zelle und so auch bei der Keimblase und dem sich später daraus entwickelnden Ei die denkbar einfachste Körperform überhaupt — die Kugel. In dieser Gestalt nimmt nicht nur die Materie den kleinsten Raum ein, sondern es zeigen sich hier auch die einfachsten Druckverteilungsvorgänge und mathematischen Korrelationen zwischen Radius und Oberfläche. — Mechanistisch aufgefaßt ist die Summe der inneren Druck- und Widerstandskräfte ins Zentrum der Kugel zu verlegen; sie strahlen von hier exzentrisch radiär nach der Peripherie aus und werden dort durch die äußern Kräfte und die Elastizitätskraft der Wandung kompensiert und ausgeglichen.

Solange die Keimblase und sodann auch das wachsende Ei auf der Schleimhaut des Cavum uteri liegen, und nur lose in dieselbe eingebettet sind, solange tritt ihrer Tension kein namhafter Außendruck entgegen. Anders werden die Verhältnisse, sobald durch fortschreitendes Wachstum die Eikugel einmal das Cavum uteri verdrängt hat. Die so in Spannung geratene Uterus-Muskulatur wird jetzt gedehnt und übt einen vermehrten Außendruck auf die Eikugel aus.

Innen- und Außendruck des Eies setzen sich ins dynamostatische Gleichgewicht. Hierbei spielt aber offenbar die Form des Eibehälters sowie die Anordnung seiner kontraktilen Elemente, der Muskelfasern eine wichtige, wenn nicht die Hauptrolle. B.S. 25.

Es ist hier der Ort, mit Nachdruck darauf hinzuweisen, daß sowohl die äußere Form, wie auch namentlich die innere Gestaltung des Fruchthalters beim Menschen entschieden abweicht von dem, was wir diesbezüglich bei den übrigen Säugern zu finden gewohnt sind. Schon im nicht schwangeren Zustande ist der menschliche Uterus in der äußeren Form relativ kürzer und dicker geworden. Die Bikornität ist normalerweise verschwunden. Auch steht in der aufrechten Körperstellung des Weibes die Längsachse des menschlichen Uterus nicht mehr wagrecht; sie hat sich ebenfalls mehr aufgerichtet. All' das kann nicht ohne Einfluß auf die weitere Formgestaltung der Frucht bleiben, die in die Eihülle eingeschlossen unter dem formenden Drucke ihres Eibehälters steht, genau so, wie wenn sie in einem mit Wasser prall gefüllten Gummiballon unter dem Drucke der geschlossenen Hand stehen würde. In einem walzenförmigen, zudem vielleicht noch bikornen Uterus gestalten sich aber selbstverständlich die Druckverhältnisse anders als im kugeligen, wie er sich bekanntlich im Schwangerschafts-Zustande des menschlichen Weibes präsentiert.



Figur 31 a, b.
Druckverhältnisse im kugeligen (*B*) und länglichen (*A*) Uterus.

Dem medianen Durchschnitt dieser körperlichen Figuren entsprechen der Kreis und die Ellipse. An Hand von Fig. 31 *A*, *B* läßt sich auf den ersten Blick nachweisen, daß der äußere Druck auf den Inhalt, soweit er durch die elastische Spannkraft der Wandung selber ausgeübt wird, beim Kreise *B* auf das Zentrum radiär gerichtet und entsprechend der Gleichheit der Radien ein gleichmäßiger ist: $x' = y'$ —. Längs- und Querachse, insofern solche überhaupt unterschieden werden können, sind mechanisch gleich. Anders bei der Ellipse, wo kleinere und größere Radien nebeneinander vorkommen (Fig. 31 *A*). Hier ist die Längsachse (x) größer als die Querachse (y). Je größer nun die Differenz in der Länge dieser Achsen ist, desto größer ist auch die Differenz in der Länge der Radien unter sich. Der größere Radius geht aber aus einem relativ kleineren Außendruck hervor, der in dieser Richtung herrscht. Der äußere Druck ist bei der Ellipse der jeweiligen Größe des Radius umgekehrt proportional.

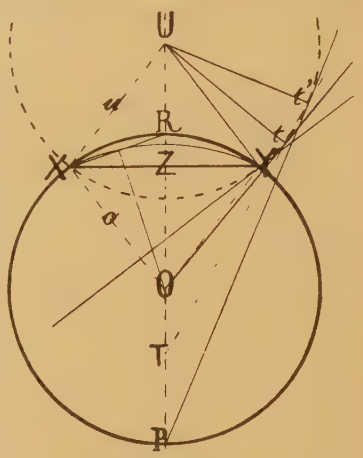
Beleuchten wir nun an Hand dieser Erläuterung die mechanischen Druckverhältnisse des menschlichen Embryo im Uterus! — Von einem Embryo-Individuum kann man im mechanischen Sinne überhaupt erst sprechen von dem Momente ab, wo die Frucht nicht mehr eine bloße Verdickung der Keimblasenwand darstellt, sondern beginnt, durch Schließung der Bauchspalte und Abgrenzung von der Dotterblase her eine räumlich wohl begrenzte Figur zu bilden, also etwa vom 25. Tage an. Trotzdem muß darauf hingewiesen werden, daß die Formierung der Rückenbogenkrümmung in die früheren Zeiten der Keimentwicklung zurückgreift, ja schon in der ersten Faltenbildung des Fruchthofes auf der Peripherie der

B.S. 26. Keimblase gegeben ist. **Die erste Krümmung des Rückenbogens entspricht der Größe der Keimblase bzw. derjenigen des Eies.**

In jedem Moment der Entwicklung setzen sich also Innendruck und Außendruck des Eies ins dynamische Gleichgewicht. Der inneren osmotischen Kraft *o* (innere Spannkraft oder Widerstandskraft) mit dem Radius *o* steht also eine äußere Kraft von ungefähr derselben Stärke gegenüber. Wir stellen die letztere dar durch einen Kreis von derselben Radiuslänge *u* (= Uterindruck).

Hat sich durch irgendein mechanisches Moment, das ich vorderhand noch nicht kenne, am befruchteten Ei an irgendeiner Stelle (Fruchthof) eine Längsfalte gebildet, deren Unterlage zu gleicher Zeit durch Anhäufung resistenterer Zellen in ihrer Widerstandskraft noch gestärkt wird, so bildet diese erste embryonale Anlage — auch rein mechanistisch betrachtet — bereits eine mathematisch scharfbegrenzte Form von der Länge *XY* (Fig. 32). Infolge der größern Resistenz des Gewebes seiner Umgebung gegenüber wird sie zu einem elastischen Bogenstrang, dessen Zentrum im Zentrum *O* des Eies liegt.

Auf die beiden Endpunkte *X* und *Y* wirkt aber der Außendruck mit derselben Kraft wie der Innendruck infolge der Ausgleichung aller dynamischen Spannkräfte im mütterlichen Organismus. Es ist also $u = o$. Die Verbindungslinie der beiden Kreiszentren *U* und *O* steht also senkrecht auf der Achsenlinie *X*—*Y* der Frucht, sobald der zweite Kreis vom Zentrum *U* aus durch die beiden Endpunkte *X* und *Y* dieser Achsenlinie gelegt wird. Von größter Bedeutung für die Entwicklung der Druckkräfte ist nun das Verhältnis der Länge der Fruchtanlage, des Rückenbogens *XY* zum Radius der Eikugel oder mathematisch ausgedrückt *X*–*Z* zu *Z*–*O*.



Figur 32.
Gestaltung der Rumpfform bei der menschlichen Frucht durch den „innern" und „äußern" Druck.

Bei dieser Relation ist nur der Rumpf der Frucht ins Auge gefaßt. Daneben hat sich aber beim menschlichen Embryo die Kopfblase bekanntermaßen schon sehr früh außerhalb der Rumpfanlage selbständig entwickelt. Nun sind die relativen Größenverhältnisse dieser Körperteile der Frucht in ihrem intrauterinen Wachstum stetig wechselnd. Will man sich daher über die mechanischen Druckverhältnisse der Frucht im Eibehälter in einem gegebenen Zeitmoment der Entwicklung eine Vorstellung machen, so hat man die Größenverhältnisse, wie sie den einzelnen Teilen in diesem Momente der Entwicklung zukommen, nach allen Dimension des Raumes hin genügend zu würdigen.

Dabei genügt es zunächst, zum Auffinden des Eiradius den Längen- und Querdurchmesser des Rumpfes zu kennen. Letzterer wird am sichersten am größten Bauchumfang der Frucht gemessen und das gefundene Maß durch $\pi = 3{,}1416$ dividiert. Die halbe Größe des gefundenen Querdurchmessers ist dann gleichbedeutend mit der Höhe des Rumpfbogens, nachdem wir einmal festgestellt haben, daß Bauch und Rückenbogen bei der Frucht vom zweiten Monat ab annähernd die gleiche Krümmung besitzen, die Bauchkrümmung also in Figur 32 auch der Peripherie des *U*-Kreises entspricht. Suchen wir dies an einem gegebenen Beispiele zu erläutern!

An einer Anzahl verschiedenaltriger Früchte bis zum dritten Monat reichend, und an Hand von Abbildungen von solchen in Normalgröße finde ich folgende Werte, die wieder nur aproximativ zu nehmen sind, da sie mit groben Mitteln an kleinen Objekten genommen wurden.

Tabelle II^c.

Tab. IIc.

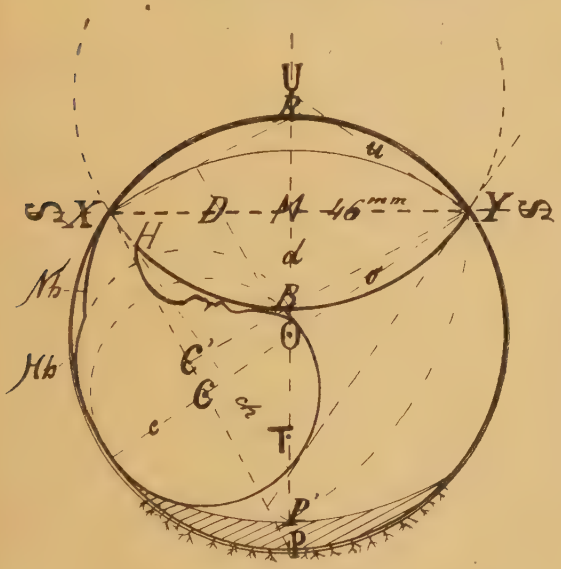
Maße an menschlichen Früchten					
Alter der Frucht	Kopf-Steißlänge am Rückenbogen gemessen	Kopf-, Halslänge	Längsdurchm. der Gehirnblase	Durchmesser des Bauches	Rumpflänge
12. Tag					
21. Tag	$5^1/_2$ mm				
30. Tag	25 mm	7 mm	6 mm	4 mm	
34. Tag	33 mm	10 mm	7,5 mm	7 mm	
$6^1/_2$ Wochen . .	36 mm	11 mm	9 mm	8 mm	13 mm
Ende 2. Monats	40 mm	11 mm	12—13 mm	12 mm	20—21 mm
Ende 3. Monats	85 mm	35 mm	30 mm	25 mm	45—47 mm

Wenn auch diese Werte an und für sich noch nicht sehr beweiskräftig sind, so geben sie uns doch einigen Aufschluß über die Proportionen in der Fruchtentwicklung nach allen drei Seiten des Raumes hin.

Versuchen wir beispielsweise an Hand obiger Zahlen die Konstruktion der äußeren Form eines menschlichen Fötus vom Ende des 3. Monats, also von einer Zeit, wo die Frucht bereits unter dem ausgleichenden Druck des Fruchtbehälters steht.

Voraussetzung ist: Außendruck u und Innendruck o halten sich das Gleichgewicht: $u = o$.

Raumverhältnisse und Konstruktion der äußeren Form einer dreimonatigen menschlichen Frucht im Uterus (s. Fig. 33 u. Tabelle II^c).



Figur 33.

Konstruktion der menschlichen Frucht vom Ende des dritten Monats. Rumpflänge $XY = 46$ mm. Maße nach Tab. IIc.

Voraussetzung (nach Tabelle II^c): In der Spindelform $XBYR$ (Fig. 33) seien D und d die Achsen. Kreisradius $u = o$.

$2d = 25$ mm. $XY = 2D = 46$ mm.

$c = \frac{30 \text{ mm}}{2} = 15$ mm. $ch = 35$ mm.

Konstruktion: Ich mache die Gerade X—Y zur Rumpfachse der Frucht ($2D = 46$ mm) und errichte auf ihrer Mitte M die kleine Querachse $RMB = 2d = 25$ mm, verbinde R mit X und errichte darauf das Perpendikel. Der Schnittpunkt O desselben mit der verlängerten Querachse gibt den Mittelpunkt des Kreises mit dem Radius $o = OX$.

$$o = OX = OR = OY.$$
$$= UX = UB = UY = u.$$

Damit sind die Umrisse der Stammesform der Frucht gezeichnet. Die Längsachse ist 46 mm, die Querachse 25 mm. Der Rückenbogen XRY entspricht der Wölbung der Eiform. Der Bauchbogen XBY hat denselben Radius, $u = o$, sobald $MU = MO$ gemacht und ein Kreisbogen, auch vom Zentrum U aus, durch die beiden Endpunkte X und Y des Achsenstabes der Frucht gelegt wird.

Im weiteren handelt es sich nun noch darum, am einen Ende der Spindelform des Rumpfes den Kopf mit dem Halsstück in den richtigen Größenverhältnissen einzuzeichnen und in dem übrigbleibenden Raume der Eikugel unterzubringen. Ich habe den Durchmesser des Kopfes (Glabella—Hinterhaupt) am dreimonatigen Fötus zu 30 mm gemessen Der Radius der mathematischen Grundform ist somit $c = \frac{30\text{ mm}}{2} = 15\text{ mm}$. Die Halskopflänge ch mißt 35 mm. Das Halsstück ist nach dem Rumpfende stark konisch zulaufend, Nackenhöcker (Nh) und Hinterhauptshöcker (Hh) deutlich ausgebildet, der Gesichtsteil platt zusammengedrückt. Für die Beurteilung des Konstruktionsprinzips dieser Kopfform leiten uns außerdem noch folgende Erwägungen:

Mechanisch tritt an Stelle des Rückenbogens XRY der Stab XMY, mit dessen einem Ende (X) das Halskopfstück in Verbindung steht, und das die direkte Fortsetzung des Bogenstückes YRX bildet.

Am anderen Ende der Halswirbelsäule sitzt das Kopfstück mit der Gehirnkugel. Daß sich dieser Körperteil bzw. die Gehirnblase mit der sie umgebenden Gehirnmasse und elastischen Schädelumhüllung mehr oder weniger frei und unabhängig von der übrigen Körperpartie des Fötus entwickelt, geht schon daraus hervor, daß sie ihre relative Größe, z. B. das Verhältnis zum Bauchdurchmesser, im Verlaufe der Entwicklung vielfach wechselt.

Nun hat der Stab seinen mechanischen Stützpunkt außer im Zentrum O auch noch im gegenüberliegenden Eipole P. Außer der zentralen Stütze MP, die durch O geht, sind die beiden Stützen, welche die Endpunkte X und Y der Stabes mit P verbinden, konstruktionell von Bedeutung. Ich ziehe deshalb X—P (an der Kopfseite des Stabes). Anderseits erhalten auch die Tangenten, welche sowohl an den O-Kreis wie an den U-Kreis gelegt werden, Bedeutung, sofern sie durch mechanisch wichtige Punkte gehen, wie ich dies in Fig. 33 dargestellt habe.

Auf der Stützlinie X—P nun scheint mir der Schnittpunkt C mit dem Durchmesser, der vom anderen Ende Y des Achsenstabes X—Y durch das Eizentrum O geht, dynamisch von besonderer Bedeutung zu sein. Dieser Punkt C entspricht in der Lage dem äußeren Gehörgang.

Bei der Konstruktion der Kopfform nehme ich die Hälfte des gefundenen Wertes $\left(\frac{30\text{ mm}}{2}\right)$ in den Zirkel und finde nun den Abstand des Punktes C von der Eiperipherie 15 mm, also genau entsprechend dem am Fötus gemessenen Maße. Auf der gegenüberliegenden Seite freilich greift der mit dem Radius 15 mm von C gezogene Kopfkreis in die konstruktionell gesicherte Kontur der Rumpfform hinein, und zwar in einer Ausdehnung eines Kreisbogensegmentes, der ca. 60° entspricht. Vergegenwärtigen wir uns die Form des fötalen Kopfes in situ, so entfällt gerade die an die Brustwand der Frucht angedrückte Partie auf den plattgedrückten Gesichtsteil des Kopfes. Die mathematische Grundform des Kopfes scheint hier ihre Kugelform eingebüßt zu haben durch den Gegendruck von seiten der Stammesform.

Zur Formierung des Hinterhaupthöckers Hh suchen wir einen andern Kreis auf mit demselben Radius $c = 15$ mm. Das Zentrum desselben liegt in C, dem Schnittpunkt von X—P mit der verlängerten Geraden Y—B. Dieser Kreisbogen tangiert ebenfalls die Peripherie des Eikreises von innen. Die Kontur des Halses ergibt sich von B aus mit dem Radius B—$X = B$—Y.

Auf dieselbe Weise wäre für jeden einzelnen Zeitpunkt der Entwicklung eine neue Formkonstruktion vorzunehmen, der andre Proportionen der Frucht zugrunde gelegt würden.

Man wird mir nun dennoch vielleicht einwenden, es sei all dies Zufall. Willkür kann es aus dem Grunde nicht genannt werden, weil wir uns in der Konstruktion genau an die bei der Frucht gefundenen Maße gehalten haben, ohne daß wir den Durchmesser des Eies gekannt hätten. Wir haben die Eiform nach der eigenen Form und den vorliegenden Größenverhältnissen der Frucht rekonstruiert und vorläufig die Kopfform in einer uns passend erscheinenden Lage gezeichnet. Wird diese Lage auch richtig sein? Dafür gibt es noch ein Maß zur Kontrolle: die Hals-Scheitellänge. Sie beträgt bei unserer Frucht 35 mm. Damit stimmt auch das Resultat unserer Konstruktion überein.

Doch was haben wir nun mit der Konstruktion der äußeren Umsisse der fötalen Körperform gewonnen?

Wie ich hoffe, ist es wenigstens die Überzeugung, daß

1. schon im fötalen Zustande die ganze Körperform von äußeren Raum- und Kraftfaktoren abhängig ist, wie sie HIS speziell zur Erklärung der Gehirnform herangezogen hat;
2. somit das ontogenetische Grundgesetz O. HERTWIGs, wonach alle Art-Merkmale im Ei selber enthalten sein sollen, nur mit großer Vorsicht und unter Vorbehalt aufzunehmen ist.

*c) Der Lenden- und Steißbeinknick beim Menschen, seine Ursachen und Entstehung.**)

Wenn auch der Ausdruck „Lendenknick" vielleicht nicht neu ist, so ist doch der Begriff, die Bedeutung, die wir ihm unterlegen, völlig neu. Ich verstehe darunter die Deformierung der menschlichen Rumpfachse vor dem Beckenring. Der neue Begriff ist also nicht etwa identisch mit dem Promontoriumswinkel oder mit irgend einem andern Winkel (beispielsweise dem von H. STRASSER Fig. 108B gezeichneten Winkel) am Lenden-Beckenstück der menschlichen Wirbelsäule.

Sobald wir von einer Deformierung, einer Abknickung der Rumpfachse des Menschen sprechen, so haben wir uns zuerst darüber zu verständigen, was wir darunter verstehen wollen. Ich verweise diesbezüglich auf unsere frühere Fig. 30.

Die Rumpfachse ist die begrenzte Längsachse der Spindelform, die wir als Grundform des menschlichen und tierischen Rumpfes anzunehmen haben. In Fig. 32 u. 33 würde sie also der Linie $X—Y$ entsprechen. In beiden Figuren ist dieses Achsenstück $X—Y$ als durch die Spindelform selber auf der als unendlich gedachten Achse $S—S$ begrenzt angenommen.

Oben habe ich nämlich auch in Fig. 26 u. 27, speziell was den Beckenring des Menschen anbetrifft, diesen mit einem Rohrstück verglichen, indem ich dabei betont habe, daß demselben vor der Geburt ebensowenig eine Ausweitung zukomme, wie dem Becken des Vierfüßlers zeitlebens, und dies auch dann nicht, wenn das Rohrstück selbst gebogen sein sollte. Das Beckenrohr der Jugendform des Menschen hat zylindrische Form. Und doch haben wir eben als Grundform für den Stamm die Spindelform angenommen! Wie können wir diesen Widerspruch lösen?

Es geschieht dies mathematisch dadurch, daß wir das Zylinderrohr als eine Spindelform von unendlicher Achsenlänge erklären. $SS = \infty XY$.

Wenn wir uns nämlich in der Entwicklungsgeschichte umsehen und finden, daß nicht nur den Ringelwürmern und Skolopendern, sondern gerade auch den niedersten

*) Zeitschrift für Gebh. und Gyn. Bd. LXXIX. v. ARX, Das Promontorium und seine Entstehung oder: Ursachen und Folgen des Lendenknicks. 1916.

Wirbeltieren, so dem Lanzettfischchen wie den Schlangen eine Rumpfachse von — theoretisch genommen — unendlicher Länge zukommt, so ist diese Auffassung gewiß auch durchaus gerechtfertigt. Sie ist es auch noch im Hinblick auf den Bau vieler höher entwickelter Wirbeltiere, die als Anhang an die Spindelform des Stammes vorn und hinten sehr lange Hals- und Schwanzstücke aufweisen. Die Spindelform des Rumpfes erscheint in diesem Falle nur als eine rein lokale Ausweitung der zylindrischen Rohrform. Sobald eine vorn und hinten begrenzte Spindelform auftritt, so wird diese bei allen Gattungen und Arten der Wirbeltiere einzig und allein getragen und gestützt; Hals- und Schwanzteil der Wirbelsäule samt Kopf sind statisch nur kompensierende Anhängsel der Stammesform.

Nun sind aber die beiden mathematischen Grundtypen der Letzteren, die Spindel sowohl wie das Zylinderrohr bei ein und demselben Individuum zu beobachten. Der Spindel entspricht die äußere Form des fötalen Rumpfes, dem Zylinderrohr das Lumen seines Beckenkanals. Bei beiden mathematischen Grundformen, der Spindel sowohl wie dem Zylinder, ist die Längsachse gegeben. Bei der Spindel ist ihre Länge begrenzt (X—Y), die „Seelenachse" (S—S) des Zylinderrohres aber ist unendlich lang. Senkrecht zu diesen Längsachsen stehen bei beiden die Querachsen, beim Zylinderrohr auch dann noch, wenn das Rohrstück gebogen sein sollte.

Es erwächst nun für uns die Aufgabe, zu untersuchen, wie wir uns bei der Rumpfform der menschlichen Frucht die Achsen der beiden mathematischen Grundformen zu denken haben. Dazu benutzen wir wieder am besten die Darstellung und Konstruktion der Frucht auf der Medianebene. Wir hätten also dabei die erste Frage zu beantworten: Ist die Achsenrichtung beider Figuren identisch?

Was zunächst die Richtung der ideellen Spindelachse der äußerlichen Rumpfform der menschlichen Frucht anbetrifft, so ist sie leicht zu definieren. Brust- wie Beckenring sehen wir mit STRASSER als „versteifte Quergurtensegmente" des spindelförmigen Ballons an; die Spindelachse geht also (X—Y Fig. 33) — kurz und bündig gesagt — von einem Spindelpol zum andern durch die Mitte des Brust- wie des Beckenringes hindurch.

Wenn nun also nach obiger Deduktion in der Stammesentwicklung die Spindelform theorethisch nur als eine lokale Ausweitung der unendlich langen Rohrform erscheint, so muß auch notgedrungen die Spindelachse mit der Zylinderachse ursprünglich zusammen fallen. Das Becken des Quadrupeden weist nun in der Tat darauf hin, daß diese Auffassung richtig ist: Die Längsachse des langgestreckten zylindrischen Tierbeckens bildet einen Teil der Spindelachse der ganzen Rumpfform des Tieres. Nicht so bei der menschlichen Frucht und noch viel weniger beim erwachsenen Menschen (s. H. STRASSER Fig. 108 A, B). Die Zylinderachse hat beim Menschen schon bei der Frucht in utero eine Abknickung erfahren, deren Effekt bei der Aufrichtung der Rumpfform noch vergrößert wird, wie wir an anderer Stelle sehen werden. Dies verpflichtet uns nach den Gründen dieses abweichenden Verhaltens zu forschen.

Was unter einer „Beugung", was unter einer „Abknickung" zu verstehen sei, darüber hat man sich in den Lehrbüchern der Technik Rat zu erholen.

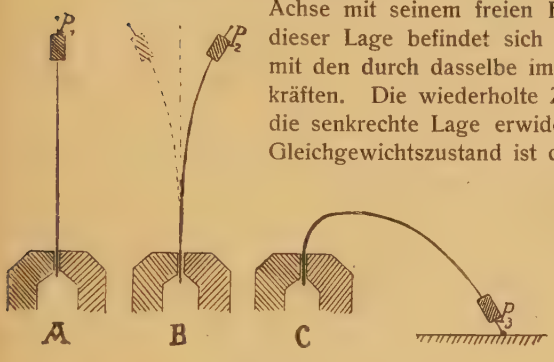
C. BACH*) (Elastizität und Festigkeit pag. 101) macht darüber folgende Angaben:

I. Die Biegung. Die auf den geraden stabförmigen Körper wirkenden Kräfte treffen dessen Achse rechtwinklig und geben für jeden Querschnitt ein Kräftepaar, dessen Ebene senkrecht auf demselben steht.

*) C. BACH, Prof. des Maschinen-Ingenieurwesens am K. Polytechnikum Stuttgart. Elastizität und Festigkeit. Berlin, Jul. Springer, 1889/90.

II. Wesen der Knickung. Die Voraussetzung, daß eine Kraft P

1. genau mit der Stabsachse zusammenfällt (Fig. 34 A);
2. diese tatsächlich eine gerade Linie bildet, und das Material durchaus gleichartig ist;
3. seitliche Kräfte auf den Stab nicht einwirken, trifft selten zu. Der möglichst genau senkrecht eingespannte Stab weicht dann bei der Belastung von der Richtung seiner Achse mit seinem freien Ende aus und erleidet eine Biegung (B). In dieser Lage befindet sich das biegende Moment P_2 im Gleichgewicht mit den durch dasselbe im Innern des Stabes wachgerufenen Elastizitätskräften. Die wiederholte Zurückführung des ausgewichenen Drates in die senkrechte Lage erwidert derselbe durch erneute Ausbiegung. Der Gleichgewichtszustand ist demnach ein stabiler. (Gleichgewicht zwischen dem biegenden Moment und den im Innern des Stabes wach gerufenen Elastizitätskräften.) Wird die Belastung vergrößert (P_3), so besteht überhaupt ein Gleichgewichtszustand nicht mehr (Fig. 34 C). Der Stab biegt sich aus, bis die Belastung zum Aufruhen kommt, also zum Teil aufgehoben wird, bezugsweise bis sie zum Bruche führt. In beiden Fällen muß es eine Belastung P_0 geben, wo der stabile Gleichgewichtszustand gerade aufhört. Diese Kraft P_0 wird Knickbelastung bezeichnet."



Figur 34.

Knickung nach C. BACH.

Relation zwischen Belastung, Festigkeit und Elastizität eines an seinem einen Ende fixierten Stabes.

Noch fühle ich mich veranlaßt, Rechenschaft für die Einführung der Bezeichnung Lendenknick zu geben. Es geschah weniger in der Absicht, dem neuen Begriff auch eine neue Bezeichnung zu geben, als vielmehr aus freien etymologischen Gründen.

Mit dem allgemeinen gebräuchlichen Ausdruck „Beugung", „Biegung", „Knickung", wird weit mehr nur die momentane Erscheinung des Beugens, Biegens, Knickens hervorgehoben. Für die bleibende Form, die als Folge dieser Funktionserscheinung angesehen werden muß, scheinen mir die dialektischen Bezeichnungen „Buck", „Buckel", „Knick" weit zutreffender und den Begriff deckender zu sein. Dabei hat man sich immer und immer wieder mit dem Gedanken abzufinden, daß das Material, mit dem der Anatom und anatomische Statiker zu rechnen hat, von Hause aus ein äußerst zähes und dehnbares genannt werden muß, daß aber der Elastizitätskoeffizient durch Einlagerung von Verstärkungsmaterial (Knochensalzen) sich ändert, sobald die Knochenform ins stabile Gleichgewicht gekommen ist und funktionell belastet wird.

Dieser Gedanke ist geradezu fundamental für das Verständnis der Form und ihrer Entstehung. Schon aus diesem Grunde müssen wir die bleibende anatomische Form und das mechanische Moment ihrer Entstehung etwas strenger als bis anhin auseinanderhalten; daher habe ich auch die Bezeichnung „Lendenknick" für notwendig erachtet, obgleich wir darunter, wie eingangs betont, weniger eine anatomische Form, als vielmehr die bleibende Abknickung einer ideellen statischen Achse zu verstehen haben.

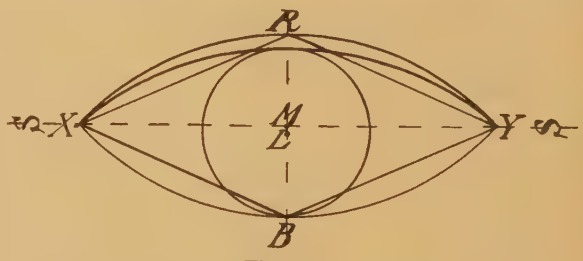
Über den Zeitpunkt, wann die große Spindelachse der Rumpfform beim Menschen ihre Deformität erfährt, wann ihr Beckenteil unmittelbar vor dem Beckenring abgebogen oder abgeknickt wird, darüber geben uns die Untersuchungen FEHLINGs und LITZMANNs wertvollen Aufschluß. Die Abbiegungen der Wirbelsäule zwischen dem Lenden- und Kreuzbeinabschnitt im dritten Fötalmonat der Frucht entspringen nämlich zeitlich und kausal ein und derselben Ursache, ja sie können sogar auch in ihrem Effekte anfänglich bis zu einem gewissen Grade mit der Abknickung der Achse identifiziert werden. Gewisse,

später zu besprechende Formveränderungen am Kreuzbein, wie am Lendenteil des abgeknickten Wirbelstabes jedoch veranlassen mich, den Knickwinkel nicht am Knochen selbst, sondern an der Mittelachse der Frucht zu berechnen. Hervorheben will ich hier nur noch, daß nach den Beobachtungen jener Autoren das Auftreten des „Steißbeinknicks", also die Abbiegung in entgegengesetztem Sinne am hintern Ende des Kreuzbeines in die gleiche Zeit der Fruchtentwicklung fällt, nämlich vor den Beginn des dritten Monats dieser Entwicklung.

Ursachen und Konstruktion des Lenden- und Steißbeinknicks.

Wir kommen nun auf die Ursachen des Lenden- und Steißbeinknicks beim Menschen zu sprechen. Nach obigem müssen diese ursächlichen Momente vor dem Erscheinen der ersten Wirbelsäulenverbiegungen, also vor Beginn des vierten Uterinmonates gesucht werden. Als Operationsbasis für die weitern Untersuchungen nehmen wir also die berechtigte Annahme, daß die von HIS in so überzeugender Weise erklärte Formbildung am menschlichen Gehirn nicht allein dastehe, sondern daß auch alle übrigen anthropomorphen Merkmale der Körperbildung durch ein und dasselbe Kausalmoment bedingt sein müssen.

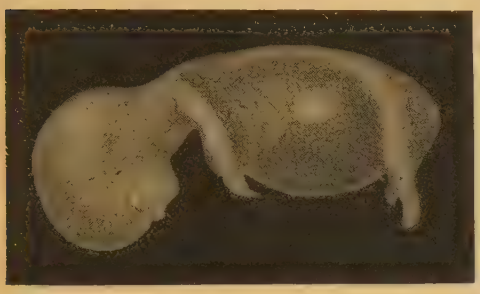
Indem dieses Moment, das nachgewiesenermaßen von einer relativen Verkürzung der Längsachse des Gehirns besteht, zu einer Zeit der Entwicklung der Frucht auftritt, wo diese noch unter einem gleichmäßigen allgemeinen äußeren Drucke steht, so muß es nicht nur auf einen Teil desselben, sondern auf das Ganze die gleiche Wirkung ausüben, d. h. es müssen sich alle anthropromorphen Merkmale ohne Ausnahme erklären lassen durch die relative Verkürzung der Längsachse der Frucht zur Zeit ihrer intrauterinen Entwicklung. Ferner habe ich mit Nachdruck bereits schon betont, daß diese Entwicklung von dem der Frucht im Uterus zur Verfügung stehenden Raume, wie von den Druckverhältnissen, welche durch die Form des Fruchtbehälters geboten werden, wesentlich abhängig ist. Es ist auch in Kürze bereits darauf hingewiesen worden, daß die Form des Uterus bei den Säugetieren im allgemeinen auch im schwangeren Zustande noch langgestreckt und wagrecht ist, daß er bei den Primaten beginnt kugeliger und aufgerichtet zu werden, daß aber die Kugelform des schwangeren Uterus erst beim Menschen recht zur Geltung kommt. Diese phylogenetisch nachgewiesene morphologische Differenzierung hat nun auch in entwicklungsgeschichtlicher Hinsicht ihre großen Konsequenzen.



Figur 35.
Die Formierung der menschlichen Frucht um die zentrale „Leistkugel" *L*.

Nehmen wir an, daß die „innere Orientierung" zweier Früchte, die eine von einem gestreckten, die andere von einem mehr kugeligen Behälter, ursprünglich die gleiche sei, und zwar in einem analogen Moment der Entwicklung, wo bereits der Stamm die Form der Spindel angenommen hat! Die relativen Druckverhältnisse, unter welche diese beiden Formen in den verschieden geformten Behältern stehen, können trotzdem in dem gegebenen Momente die nämlichen sein, d. h. es kann (Fig. 31 *A* und *B*) $x : y = x' : y'$ sein, sobald x' in *B* nicht als Radius, sondern als Sehne auftritt, wobei dann die Spindelform als Kugelsegment zu denken ist. Vergrößert sich aber mit fortschreitendem Wachstum der

Frucht im Kugelbehälter auch ihre Längsachse (Fig. 33), so verändert sich sofort das Verhältnis der letzteren zur Querachse, und damit werden durchaus neue Verhältnisse für die räumliche Ausdehnungsmöglichkeit der einzelnen Organe und Körperteile geschaffen. Die Querachse der Spindel wächst, während die Längsachse relativ zurückbleibt. Dieses Verhältnis kann sich solange zu Ungunsten des Längsdurchmessers der Frucht verändern, indem sich X—Y dem Zentrum der Eikugel solange nähert (Fig. 33), bis X—Y der Seite des gleichseitigen eingeschriebenen Dreiecks entspricht. In diesem Falle käme das Kreiszentrum U auf die Peripherie des Eikreises selber zu liegen und ein weiteres Vordringen desselben scheint außer dem Bereich der Möglichkeit zu sein. In diesem extremsten Falle wird (Fig. 33 und 35) X—R = dem Bauchdurchmesser $R - B$ der Frucht, das heißt = dem Radius der Eikugel selber. Dieses Verhältnis wird in der Tat bei der achtwöchentlichen menschlichen Frucht (Figur 20) auch nahezu erreicht.



Figur 36a.

Figur 36b.

Menschliche Frucht am Ende des 2. Monats. Kopf-Steiß-Länge 3,6 cm. Zeichnung etwa $1^1/_2$ mal vergrößert. Die resistentere Leistkugel in der Spindelform formiert die Skelettanlage des Rumpfes.

Man erhält also zeichnerisch die Proportion dieser Frucht annähernd richtig auf der Medianebene Γ_1, indem man von den Endpunkten R und B ihrer Querachse die Länge dieser letzteren nach beiden Seiten hin abträgt. Die Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte X und Y ergibt die Längsachse der Spindelform. Der Bogen XRY wird zum Rückenbogen, XBY, zum Bauchbogen der mathematischen Grundfigur.

Da der Rückenbogen XRY mechanisch dem „Druckbaum" H. STRASSERs entspricht, anatomisch aber dem Wirbelsäulenbogen, so ist bei R auf der Querachse RB die Dicke dieser letztern aufgetragen, wobei der Verstärkungsgrad (Wirbelbogen-Dornfortsatz) nicht zu vergessen ist. Der übrig bleibende Teil von RB wird zum Durchmesser der Leistkugel, die in diesem Entwicklungsstadium den ganzen Querdurchmesser der Form in Anspruch nimmt. (Fig. 35). **Das Zentrum L dieser Kugel fällt also notgedrungen in die** B.S. 27. **ventrale Hälfte $XMYB$ der Spindelfigur, also irgendwo auf die Linie MB.** Diese Orientierung mag vorderhand genügen.

Zu den spezifischen Artmerkmalen der menschlichen Frucht, die nach unsern Annahmen alle durch relative Verkürzung der Längsachse entstehen sollen, gehört nun auch entschieden die Formierung dieser „Leistkugel" L. Bei keiner andern Spezies treffen wir sie in nur annähernd gleicher Ausbildung. Es läßt sich dies nach dem obengesagten sehr wohl begründen; denn bei keiner andern Spezies ist die relative Entwicklung der Querachse B—R durch die Druckverhältnisse so begünstigt, wie bei der menschlichen Frucht. Und über die so gebildete resistente Kugel stülpen sich vorne die hintern (untern) Rippen des Brustringes und hinten die Schaufeln des Beckenringes. Sie erhalten dadurch die erste bleibende Formierung durch die Leistkugel.

Aber diese **Leistkugel** erlangt noch weit größere Bedeutung als **mechanischer** B.S. 28. **Faktor bei der Bildung des Lendenknicks.** Die Entstehung dieser für die Anthropogenese sehr wichtigen Erscheinung läßt sich nun experimentell leicht erklären, sobald wir

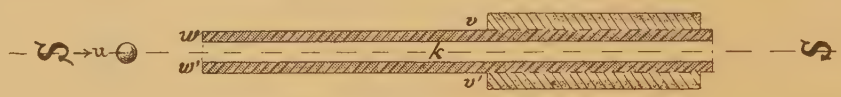
folgende Voraussetzungen machen können, die durch die tatsächlichen Verhältnisse der menschlichen Eientwicklung gegeben sind:

Exp. I. *Experiment I.*

Voraussetzungen (B. S. 12, 24, 27).

1. Der fötale Beckenkanal des Menschen hat Zylinderform von der Kaliberweite — k. (Fig. 27 und 37.)
2. Die Wandung (w) des Beckenrohres besitzt auf der Seite des Rückenbogens (Druckbaums) noch einen partiellen Mantel (v) in Form eines Verstärkungsgrates (Columna spinalis) (Fig. 38).
3. Die Leistkugel (L) ist von härterem widerstandsfähigerem Material als der Beckenring zur Zeit seiner Schließung (zweiter bis dritter Monat).
4. Diese Kugel hat einen größern Durchmesser als der Kaliber-Durchmesser des Beckenrings ist (es ist also $L > k$).
5. Der Mittelpunkt der Leistkugel liegt also ventralwärts von der Seelenachse SS des Beckenrohres und der Längsachse der Frucht. Es ist nämlich: $MB > LB$ (Fig. 35).

Zum bessern Verständnis des Folgenden zeichnen wir ein Geschützrohr mit der unendlich gedachten Seelenachse S–S und der Kaliberweite k. Die Stärke der Rohrwand ist



Figur 37.

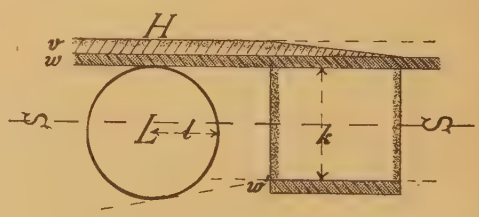
Geschützrohr vom Kaliber k mit Seelenachse SS; ww' Wandung; vv' partielle Wandverstärkung (Mantel); u Kugel vom Kaliber k.

bezeichnet mit w, w'. In dieses Geschützrohr wird mit Leichtigkeit jede Kugel geladen, gleichviel von welcher Härte sie sei, sobald ihr Durchmesser nur noch dem Kaliber k des Rohres entspricht. Das Laden der Kugel erfolgt durch einen Druck (u) in der Richtung der Seelenachse S—S. Entspricht also die Kugel noch dem Kaliber k, so wird sie bei vermehrtem Drucke einfach in das Rohr gepreßt, sobald ihr Mittelpunkt auf der Seelenachse liegt.

Der Mantel v, v' des Geschützrohres (Fig. 37) verstärkt die Widerstandskraft der Rohrwandung allseitig gegen den innern Druck der Pulvergase. Beim Beckenrohr scheint diese Verstärkung nur nach der Seite des Druckbaumes hin notwendig zu sein. Die Ventralseite begnügt sich mit der einfachen Wandung w' (Fig. 38). Auch der Verstärkungskamm v verschwindet allmählich gegen das Kaudalende des Beckenrohres hin.

Nun weichen aber nach unsern Voraussetzungen 3, 4, 5, die tatsächlichen Verhältnisse bei der Formgestaltung des menschlichen Beckenringes — und nur bei diesem — in dreifacher Weise von der eben gegebenen Darstellung ab, nämlich: Die Leistkugel L (Fig. 38) zeichnet sich vor dem Beckenring aus durch

1. größere Härte,
2. größeren Durchmesser,
3. durch die Exzentrizität ihres Mittelpunktes.



Figur 38.

Exzentrische Lage der „Leistkugel" L $l > \frac{k}{2}$.

Versucht man nun mit größerem Druck eine harte Kugel, sagen wir eine Eisenkugel, in ein Rohr von kleinerem Kaliber und

weicherem, biegsameren Metall (Bleirohr) exzentrisch zu laden, so nimmt man dabei folgende Erscheinungen war:

a) Die Kugel bleibt unverändert, verursacht aber an der Röhrenmündung eine Stauchung.
b) Das weiche Rohr biegt sich ab (Beugung), und
c) es erleidet, wenn seine Öffnung nicht senkrecht auf der Seelenachse steht, eine Abknickung der letzteren vor der Rohrmündung. Diese letztere Erscheinung würde in vorzüglichster Weise dann zu beobachten sein, wenn das Bleirohr vor der Mündung eine einseitige Wandverlängerung tragen würde, wie wv in Fig. 38.

Alle diese Erscheinungen sind nun in der Tat auch am Beckenring der menschlichen Frucht zu konstatieren (Fig. 20—24).

Die Stauchung läßt sich an den meisten Medianschnitten menschlicher Früchte daran erkennen, daß der Symphysendurchschnitt vorne breiter ist als hinten. Bei Fig. 24 ist ganz besonders die Stauchung nach außen ersichtlich.

Eine Krümmung des Beckenkanals haben wir bereits in B.S. 14 für die meisten Medianschnitte von Früchten konstatiert.

Die Abknickung der Wirbelsäule vor und hinter dem Beckenring, die unter unsern Begriff „Lenden-Steißbeinknick" fällt, haben FEHLING und LITZMANN ebenfalls längst nachgewiesen. Wenn ich vorziehe, den Knickwinkel an der Seelenachse zu messen, anstatt am Knochen selber, so ändert dies an den Tatsachen wenig. Nur möchte ich noch einmal hervorheben, daß die Abbiegung der Wirbelsäule bei den einzelnen Früchten sehr verschiedengradig ausgebildet erscheint, wohl nur deshalb, weil an dem Zustandekommen derselben die verschiedensten Faktoren mitwirken, deren relativen Wert wir in jedem einzelnen Falle noch viel zu wenig kennen.

Es sind nämlich für all die genannten Formveränderungen: Stauchung, Abbiegung, Abknickung u.a. in Anrechnung zu bringen:

1. Größe und Angriffsrichtung von Druck und Gegendruck.
2. Die relativen Härten und Elastizitätsgrade von Kugel und Ring.
3. Die relativen Größenverhältnisse im Durchmesser derselben (relative Kalibergrößen).
4. Die Stärke, Widerstandskraft und Länge des Rohres.
5. Die Stärke, Widerstandskraft und Länge des Rohrmantels.

Von all diesen einzelnen Faktoren kennt man bis jetzt noch viel zu wenig, als daß man an eine eigentliche Konstruktion der fötalen Beckenform heute schon denken könnte. Es mag daher genügen, die einzelnen mechanischen Momente, die bei der ersten Entstehung der Form tätig sind, im Zusammenhang hervorgehoben zu haben und im weitern an Hand einer Figur mit beliebig gewählten Zahlengrößen, das Ineinandergreifen und die gegenseitige Abhängigkeit der verschiedenen Kraftmomente konstruktionell etwas näher zu beleuchten*).

Konstruktion des Lendenknicks.

Voraussetzung. Es sind gegeben:

1. Eine Kugel P von großer Widerstandskraft (Härte) mit dem Mittelpunkt P und dem Radius p (Leistkugel).
2. Ein zylindrisches Rohr oder Ring von großer Elastizität und Weichheit mit der Seelenachse SS und von Kaliberradius k ($BR = 2k$) von der Länge $BA = ER = a$,

*) Ich wähle dabei absichtlich andere Proportionen von Rohrstärke, Wandverstärkung, Kaliber und Kugelmaß als die in Fig. 33—38 vorhandenen.

der Wandstärke $w - w'$, von der partiellen (einseitigen) Mantelstärke v (fötales Beckenrohr).

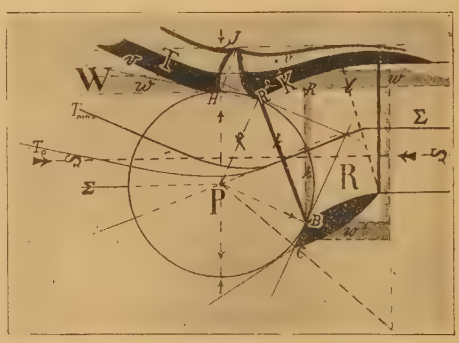
Das Rohrstück ist in den elastischen Stab ($w'v$) so eingefügt gedacht, daß sein Wandungsstück einen Teil dieses Stabes ausmacht. Hinter dem Rohrstück verjüngt sich der Stab wv.

3. Die Kugel P soll größer sein als das Rohrkaliber k, also $p > \frac{k}{2}$, und von größerem inneren Widerstand (Härte) als ihn die Rohrwandung aufweist.
4. Die Kraft u wirkt in der Richtung der Zylinderachse SS auf die Kugel und treibt diese gegen die Rohröffnung BR. Senkrecht darauf wirkt die geringere Kraft p. Gegen H hin wird also die Kugel mit der Kraft $V = p$ angedrückt.

Nach diesen Voraussetzungen sind alle Bedingungen vorhanden, die BACH für das Zustandekommen einer Knickung angibt: Die Seelenachse SS ist mechanisch als im Rohrstück eingeschraubt zu denken (Fig. 34 A, B, C). Der Stoß wirkt vom Kugelzentrum P aus gegen H hin, also seitlich auf die Seelenachse SS. Kugel und Rohrstück berühren sich in H (Stab w) und in B bei w' an der Rohrmündung, wobei ein kleines Kugelsegment bereits im Lumen des Rohres verschwindet.

Wirkt die Kraft in der Richtung der Seelenachse SS weiter, so wird nun ein möglichst großer Teil der Kugel in das Ringlumen hineingepreßt. Da dieser Ring sehr nachgiebig und elastisch angenommen ist, so kann dies nur in der Weise geschehen, daß sich die Eingangsöffnung (Rohrmündung) BR' über die größer gedachte Kugel hinüberstülpt. Der Punkt R kommt nach R' zu liegen, wo er die Peripherie der Kugel P berührt. [An der körperlichen Kugel berühren selbstverständlich alle Punkte der Rohrmündung BR die Kugeloberfläche].

Dadurch wird nun aber die Rohrachse in der Richtung nach dem Kugeldurchmesser hin abgelenkt. Die neue Achse ΣP geht durch das Kugelzentrum (Kreiszentrum) hindurch; denn die Rohrachse muß auch fernerhin senkrecht zur Rohrmündung stehen. Es ist also nunmehr $P\Sigma \perp BR'$, und parallel dieser neuen Achsenrichtung $P\Sigma$ stellen sich nun auch die Wandstücke des Rohres (w' und wv). Sie werden sich aber, da sie elastisch sind (Annahme) in mehrfacher Weise deformieren und zwar:



Figur 39.

Ursachen des Lenden- und Steißbeinknicks. R zylindrisches Beckenrohr vom Kaliber k in den geraden Druckbaum W eingelassen. P Zentrum der Leistkugel vom Radius p. SS Seelenachse // W. K u. T Bruchstücke von W nach der Knickung von SS zu $\Sigma\Sigma$. Voraussetzung: $p > \frac{k}{2}$.

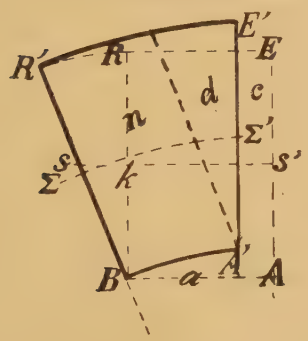
1. Die Kugel bleibt in Form und Stellung unverändert (Annahme)
2. Das Rohrstück wird verändert, und zwar wie folgt:
   a) Das Wandstück w' (Symphysenteil) wird durch die fortwirkende Kraft, welche die Kugel zuerst in B hat tangieren lassen, zusammengedrückt; die Partikelchen bei B werden in der Tangentialrichtung abgetrieben (abgeschleudert oder „gestaucht"). Die Längsachse verkürzt sich hier durch die Kompression, während der Wanddurchmesser von w' sich infolge seiner Elastizität in der Mitte etwas vergrößert. Das hintere Ende verschmälert sich zugleich in der Weise, wie sich das vordere durch Stauchung verbreitert.

Die Länge der Rohrwandung w' wird verkürzt (konform B. S. 16). **B.S.29.**

b) Die in der Richtung $P\Sigma$ abgelenkte Rohrachse bleibt in ihrer Länge unverändert; aber da sie sich stets in gleicher Entfernung vom Wandstück w' hält, im gleichen Sinne **abgebogen** wie die ausgebauchte Innenfläche BA' der letztern.

Die Achse bleibt in der Länge unverändert, wird aber abgebogen, sobald genügende Elastizität vorhanden ist (Voraussetzung) (konform B. S. 14). **B.S.30.**

c) Umgekehrt wie das Wandstück w' erfährt das Wandstück wv des Rohres eine Deformität im Sinne der Dehnung. Der Punkt R führt eine Vorwärtsbewegung nach R' aus und wird hier festgehalten, während die Druckwirkung in SS' weitergeht. Dieser Druck bewirkt nun zunächst eine Ablenkung der Achse in der erwähnten Richtung ($P\Sigma$), was freilich nur bei genügender Elastizität des Rohres möglich ist. Nach erfolgtem statischem Gleichgewicht, d. h. nach Vollzug der Abbiegung soll die Richtung der Druckachse $\Sigma\Sigma$ auf der hintern Rohröffnung $A'E'$ wieder senkrecht stehen, gleich wie vor der Abbiegung zu AE, d. h. es muß die neue Σ-Achse senkrecht auf $A'E'$ (Fig. 40) stehen und $A'E'$ parallel AE. Das wird nur ermöglicht durch einseitige Dehnung und Verlängerung der ursprünglichen Rohrlänge $a = RE$ bis zur Länge $R'E'$, wobei diese Länge zugleich vom gleichen Kreiszentrum aus abgebogen wird, wie die Rohrachse und die Innenwandung BA'. Das ursprüngliche Zylinderrohrstück $AB—ER$, das auf dem Längsschnitt vor der Biegung als Rechteck erschien, hat nach erfolgter Abbiegung völlig andere Form. Die Ebenen der Eingangs- und Ausgangsöffnung des Rohres stehen nun nicht mehr parallel.



Figur 40.

Die Deformierung des zylindrischen Rohrstückes $ABER$ zu $A'BE'R'$ durch exzentrischen Druck. ***n*** entspricht der Pars pelvica, ***d*** der Pars perinealis des menschlichen Beckens.

Das gebogene Rohr ist „schief geschnitten" (Fig. 40) und besteht in der Zeichnung aus einem rechteckigen Längschnittstück n (Pars pelvica), dessen ursprüngliche Achsenlänge um den Kompressionsfaktor c verkürzt erscheint, während der einseitig auftretende Dehnungsfaktor in Form eines Dreiecks d (Pars perinealis) sich an die rechteckige Grundform anreiht. Dieser ganze Vorgang ist als Rohrbiegung oder Beugung zu taxieren (Fig. 40).

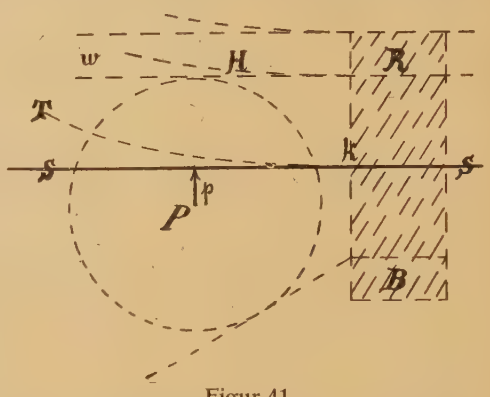
3. Wir kommen nun auf die Deformierung des elastischen Stabes $W = wv$ zu sprechen. Durch die Einfügung des Rohrstückes $ABRE$ erhält der Stab W eine partielle und lokale Verstärkung; hinter dem Rohrstück tritt eine Reduktion der Masse (wv) ein, so daß der Stab hier allmählich geschwächter erscheint (Annahme).

Sehr wesentlich für die Art und Weise, wie die Deformierung im Ringstück und im Stabe vor sich geht, ist nun das Verhältnis von $w:v$, also der Dicke des Stabes zum Verstärkungsgrat, sowie die Form seines Querschnittes überhaupt. Außerdem kommen konstruktionell in Betracht: Die Kalibergröße des Rohres (k) und der Kugel (P), sowie der Elastizitätsgrad, beziehungsweise die Druckfestigkeit des Stabmaterials. Von allen diesen Faktoren abhängig ist Form und Grad der Abknickung vor dem eingeschalteten Rohrstück.

Der mechanische Vorgang dieser Stabformierung ist nun ein wesentlich anderer als derjenige, wie wir ihn soeben am Rohrstück kennen gelernt und als „Rohrbiegung" berechnet haben. Und doch ist auch diese Deformierung auf dieselbe mechanische Wirkung zurückzuführen wie jene, nämlich auf den relativ vermehrten Druck U zu der Längsachse SS. Der mechanische Vorgang läßt sich am besten an der Achse SS feststellen.

Im Rohrstück erfolgt der Druck — vor wie nach der Biegung des Rohres — stets in der Richtung der Achse. Wir haben es nach technischem Begriff mit einer reinen Biegung zu tun (s. BACH). Nur Form bzw. Grad dieser Biegung sind von andern äußern und innern Faktoren abhängig gemacht.

Am freien Teil T der Achse, die im eingeschalteten Rohrstück als eingenietet zu denken ist, erfolgt der Druck, unter der gemachten Annahme, daß das Kugelkaliber größer sei als dasjenige des Rohres, nicht mehr in der Richtung der Achse selber, sondern von der Seite, d. h. vom Zentrum der Kugel her auf die Achse SS. Durch das Vorhandensein eines verstärkenden Ringes BR aber wird diese Achse hier eingespannt (Fig. 41) und somit erhalten wir genau dieselben mechanischen Vorbedingungen, wie sie für das Zustandekommen einer Knickung gefordert werden (Fig. 34). Die Deformierung des Stabes w kann also nur im Zusammenhang mit der Ringkonstruktion richtig gewürdigt werden und dies auch nur unter voller Berücksichtigung aller Momente, welche auf diese Ringform deformierenden Einfluß haben.



Figur 41.

Die seitliche Belastung der Seelenachse SS durch den seitlichen Druck p der exzentrisch gelegenen P-Kugel.

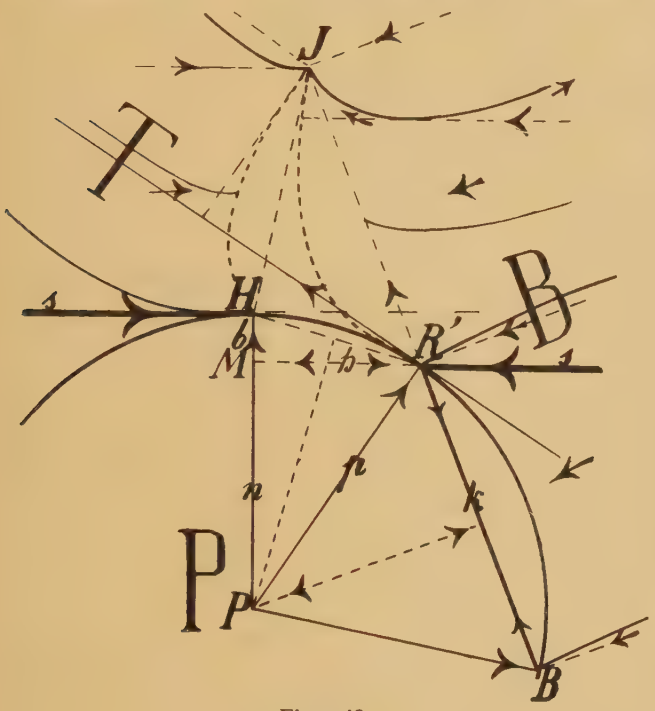
Im Zeitmomente, wo die Kugel P durch die äußere Kraft U dem Ring BR soweit genähert wird, daß sich beide Körper beim Punkte B berühren, tangiert die Kugel den elastischen Stab w im Punkte H. Die Entfernung der beiden Punkte BH voneinander ist von zwei Faktoren abhängig, einerseits vom Radius der Kugel P und anderseits vom Durchmesser (Kaliber k) des Rohres BR.

Durch den Biegungsvorgang des Rohres ist der Ringpunkt R' an die Kugel herangeschoben worden und erhält nun an der Peripherie des P Kreises sitzend (Fig. 39) denselben mechanischen Wert, wie der Berührungspunkt B. Auch hier haben die nächstliegenden materiellen Partikelchen unter fortgesetztem Druck die Tendenz in der Richtung der Tangente abzuspritzen.

Nun ist aber durch das Vorgehen des Punktes R nach R' die Entfernung von H zum ursprünglichen Berührungspunkt R wesentlich verringert worden, d. h. die dazwischen liegende Partie des Stabes w wird zusammengepreßt, wenn die Moleküle nicht in der genannten Tangentialrichtung ausweichen können. Es ist dies durch das Vorhandensein des Stabes w weniger leicht möglich, als am freien Ende von w' bei B. Am Verstärkungsgrad v bei I dagegen tritt eher eine Bewegung der Moleküle in entgegengesetztem Sinne ein; hier überwiegt das Moment der Dehnung in der Rohrwandung.

Wir verlängern die Linie BR', welche nach erfolgter Biegung die neue Mündungsebene des Rohres bezeichnet. Auf ihr steht die neue Richtungsachse ΣP senkrecht. Der Punkt J zu äußerst an der Verstärkungskante v bezeichnet den Ort, wo die innern Kräfte

des ganzen Stabes w mit den äußern Druckkräften ins statische Gleichgewicht kommen. So wird J zum Pivot des Bruches oder Knickes. Es ist aber auch im gegebenen Zeitmoment der Berührungspunkt H des Stabes im statischen Gleichgewicht. An der Peripherie des P-Kreises liegend (Fig. 42) steht er unter gleichen Druckverhältnissen wie R', $HP \perp SS$; verbinden wir H mit J, so muß auch diese Linie als statische Gleichgewichtslinie gelten, auf welche die Angriffsrichtungen aller innern Kräfte senkrecht gerichtet sind. Auf diese Linie HJ erfolgt der Druck vom B-Ende (Rohrseite) des Stabes her in der neuen Richtung der Tangente $R'T$. Ziehen wir von J aus noch eine Senkrechte zu dieser Tangente, so bildet sie die eigentliche Widerstandslinie der innern Kräfte für die in der Richtung der Tangente $R'T$ erfolgende äußere Kraft. Diese Kraft t, eine Komponente der Druckkraft s richtet sich (Fig. 42) auf die Dreieckspitze R', während die andere Komponente in R' nach dem Zentrum des Kreises P hin zielt.



Figur 42.
Die Konstruktion des Lendenknicks und der Lage-Korrelationen von P, B und T nach dem Bruch.

Das Zentrum des Belastungsmomentes liegt in P. Das Belastungsmoment p wirkt nun in gleicher Weise auf H und R'. Der Punkt R' ist aber vom Rohrpunkt R nur erreicht worden durch Dehnung (Verlängerung) infolge hochgradiger Elastizität des Stabes. Wäre dieser Elastizitätsgrad $= O$, so würden wohl die Punkte B und H den Kreis berühren; eine Annäherung von R an die Kreisperipherie aber wäre unmöglich ohne vollständigen Bruch von wv. Sobald man aber annimmt, daß durch die Elastizität des Stabes eine so große Dehnung des letztern möglich sei, daß eine Berührung des Kreises durch den Rohrpunkt R überhaupt noch stattfinden kann, so hängt die Lage des neuen Berührungspunktes R' auf der Kreisperipherie noch von dem Quotienteu $k:p$ ab, also von dem Kaliberverhältnis zwischen Kugel und Rohr. Dadurch ist auch Schnittpunkt J auf der äußern Gratlinie gegeben und damit der Knickungswinkel HJR' bestimmt (Fig. 42).

In dem $\triangle R'PH$ ist $p = (n + b)$ als Kreisradius. $MR' = b$ steht senkrecht auf HP.

In dem kleinen $\triangle HMR'$ bedeutend b die Größe, mit welcher der Stab wr parallel liegend zu SS, durch die seitliche Belastung $p = n + b$ geknickt und parallel zur ursprünglichen Richtung zurückgedrängt wird. Es findet also zunächst ein Bruch statt, der durch den ganzen Stab von H bis J durchgeht und das vordere T-Stück um die Höhe b am Rohrstück (B-Stück) verschiebt. In Wirklichkeit wird aber das B-Stück selber vorgeschoben.

Die Hubhöhe b ist abhängig:

a) bei gegebenem Kugelradius p von der Rohrkalibergröße k. Je größer k um so kleiner die Abknickung b.

b) Bei gegebener Kalibergröße k vom Radius p der Kugel. Je größer p um so größer b.

Wir sagen also:

B.S.31. **Die Größe der Abknickung ist abhängig von den Größenverhältnissen zwischen Kugel und Rohr.** Ebenso maßgebend ist hierfür wie für die Biegung des Rohres selber der Elastizitätsgrad bzw. die Weichheit des Rohrmaterials selber. Dicke und Querschnitt der Rohrwandung sind hierfür zunächst ohne Belang. Sie werden es aber für die weitere Formveränderung des Stabes an der Knickstelle. Dabei ist noch folgendes in Erwägung zu ziehen:

Zu Beginn unserer Untersuchungen über den Lendenknick haben wir die Relationen nur von zwei Körpern ins Auge gefaßt, eines Rohrstückes B und einer Kugel P, wenngleich sich diese Korrelation zu gleicher Zeit bereits auf verschiedene Eigenschaften dieser Körper erstreckte, nämlich Größen- und Härteverhältnisse derselben. Hätten wir die beiden Körper auf einem freien, d. h. geschnittenen Rohrende miteinander in gegenseitigen exzentrischen Kontakt gebracht, so hätten die oben aufgestellten Proportionen vollauf genügt.

Aber wir haben uns das Rohrstück in Verbindung mit dem elastischen Stab wv zu denken, an welch letzterem die Kugel in H ebenfalls angelehnt erscheint. Dabei hat man bereits einen Bruch von der Stabhöhe b konstatieren können, der durch die ganze Stabdicke bis J hindurchgeht. Dadurch werden nun neue Relationen geschaffen: denn wir haben es nunmehr nicht mit zwei, sondern eigentlich mit drei Körpern zu tun. Zu Kugel und Rohr ist noch das Bajonettstück T gekommen; alle drei treten nun zueinander in Korrelation.*) Wir bezeichnen die drei Körper mit P (Kugel), B (Rohrstück = Beckenteil), T (Stabknick = Lendenteil). Nach unserer gemachten Voraussetzung stehen die drei Körper unter einem gemeinsamen äußern Druck s, der auf die beiden Endpunkte der Zylinderachse S—S ausgeübt wird und in der Richtung derselben verläuft, also parallel wv und $\perp PH$ angreift. In PH wird der beidseitige Druck kompensiert.

Auch nach der Biegung und Ablenkung des Rohres B erfolgt der Druck s auf die beiden Berührungspunkte HR' immer noch in der ursprünglichen Richtung, wenn gleich die Achse von B bereits von ihrer ursprünglichen Richtung und Lage abgewichen ist (Fig. 39). Auf der neuen Achsenrichtung senkrecht steht BR'. Durch die Verlängerung dieser Linie wird J bestimmt als äußerer Punkt auf dem Querschnitt des Stabes wv.

Für die neuen Relationen sind folgende vier Punkte maßgebend: P, R, H und J (Fig. 43). Die Lage des Punktes R ist abhängig gemacht von B und k.

Konstruktion. Voraussetzung. Gegeben sind die drei Körper:

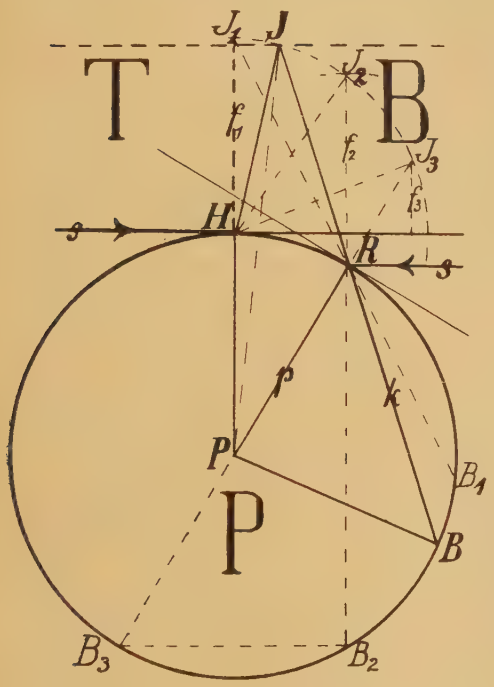
Stabstück T, Rohrstück B und Kugel P.
s = Druckkraft $\perp PH$.
p = Radius der Kugel (Widerstandskraft).
$f = HJ$ = Länge des Querschnittes des Stabes T.
= Dicke der Rohrwandung von B.
$k = BR$ = Kaliberweite des Rohrstückes B.

*) Der Vergleich mit dem Bajonett ist in der Tat dadurch gerechtfertigt, als man unter dieser Bezeichnung eine Stabform versteht die eine doppelte Abknickung ihrer Achse erfahren hat, wobei die Achsenstücke nach der Deformierung wieder in einer Richtung, die zur frühern parallel steht, verlaufen.

B, R und H seien die Berührungspunkte der Kugel mit T und B. In dem Viereck $PRJH$ ist $PR = PH = p$.

Die Punkte P und H sind fixiert ($PH \perp s$).

Da $PH = PR$ ist, so ist die Lage von R abhängig vom Zentrumswinkel HPR oder auch von der Länge $BR = k$. J ist bestimmt (bei gegebenem Querschnitt f) von BR, bzw. ihrer Verlängerung; BJ ist also proportional dem Zentrumswinkel BPJ. Versuchen wir nun für eine gegebene Lage des Punktes R die Minimal- und Maximalwerte der Spannung bei J zu berechnen.



Figur 43.

Die Belastungsmomente nach dem Bruch. Minima und Maxima von Beckenring *(k)* und Wirbelsäule T u. B bei gegebener Leistkugel P.

Die Minimalspannung erfolgt im Stabe für T und B, wenn $J_{min.}$ in der Verlängerung PH liegt. $f_1 = f_{max.}$, d. h. ein größerer Querdurchmesser als f_1 wäre hinderlich.

Die mittlere Gleichgewichtsspannung liegt bei J_2, wobei $f_1 = f_2$, also HJ_2 ist und RB_2 parallel HP steht.

Die Maximalspannung endlich findet bei J_3 statt, wo die Verlängerung von J_3R durch den Kugelmittelpunkt P geht.

Es ist dies die niedrigste Grenze für die Wanddicke von T und B, also $f_3 = f_{min.}$

Daraus geht neuerdings hervor, daß zufolge der herrschenden Raum- und Druckverhältnisse **bei fortschreitendem Wachstum der Dicke des Stabes,** bzw. der Dicke der Rohrwandung, schon **durch die bloße Korrelation mit der Kugelgröße gewisse Maximal- und Minimalgrenzen gesetzt sind.** B. S. 32.

Das Verhältnis von Kugel und Rohrkaliber wird ausgedrückt durch die Porportion Rohrkaliber : Kugeldurchmesser $= k : p$ (Figur 43). $k_{max.} = 2p = RB_3$. Die Kugel paßt zum Kaliber.

Beweis. Senkrecht zu $RB_3 = k_{max.}$ steht die Tangente RT als neue Richtungslinie für das Teilstück T. Diese Tangente gibt somit den Grenzwert für die Ablenkung dieses vordern Teilstückes T des Stabes. Da bei dieser Spannung das Maximalkaliber k_3 dem Durchmesser RB der Kugel gleichkommt, schlüpft jene ohne Widerstand in das Rohrvolumen hinein.

Mit dieser Konstruktion glaube ich in allgemeinverständlicher Weise die gegenseitigen mechanischen Korrelationen von P, B und T gezeichnet zu haben und überlasse es dem Mathematiker vom Fach die Berechnungen über den Knickungsvorgang am Stabe TB auszuführen.

Dabei müssen wir aber einen Gedankengang nochmals hervorheben. Ich habe oben bei der Betrachtung der Grundform des tierischen Rumpfes schon mit Nachdruck darauf aufmerksam gemacht, daß wir bei der Spindelform nicht nur von einem einfachen „Druckbaum" (H. STRASSER) sprechen, sondern daß wir uns vielmehr diesen Stab begleitet denken müssen von einem zweiten Bogen, dem die Funktion der elastischen Verstärkung zukommt („Zugstrebe"). Wir haben diese verstärkte Doppelkonstruktion auch schon bei unsern Unter-

suchungen in den Figuren berücksichtigt, indem wir vom Verstärkungsgrat des Rückenstabes gesprochen und den Durchmesser desselben $f = w + v$ gesetzt haben. Morphologisch ist diese Zugstrebe zu suchen in der columna spinalis und ihrem Muskelsystem.

Es ließe sich nun sehr wohl denken, daß nicht nur die Durchmesser von w und v verschieden sind, sondern auch ihre Biegungs- und Widerstandsfähigkeit. So ließe sich sehr wohl eine Kombinationsform finden, die es ermöglichen würde, daß der Bruchwinkel HJR (Fig. 42 und 43) nicht durch die ganze Dicke des Stabes (f) hindurchgehen, sondern sich nur auf den Wirbelstab w beschränken würde, so daß die intakt gebliebene elastische Zustrebe v vielleicht nur eine leichte Beugung ohne Bruch erlitte.

Wir hatten eingangs dieses Kapitels den Begriff „Lendenknick" dahin definiert, daß wir sagten, wir hätten darunter eine „Deformierung der menschlichen Rumpfachse vor dem Beckenring" zu verstehen. Diese Rumpfachse haben wir im Laufe der Untersuchungen
B.S.33. aus dem Auge verloren. Wir sagten so: **Unter Rumpfachse der menschlichen Frucht verstehen wir die durch ihre Spindelform gegebene Begrenzung einer ursprünglich als unendlich lang gedachten Seelenachse *S—S*.** Das auf die Strecke $X—Y$ beschränkte Achsenstück entsprach in Länge und Lage der Längsachse dieser Spindelform. Und doch hatten wir, da das Rohrsück B deutliche Zylinderform aufweist, stets mit der unendlich langen Achse $S—S$ gerechnet. Der Druck s erfolgte in der Richtung dieser Achse.

Die ideelle Achse SS sahen wir sodann im gebeugten und in der Richtung abgewichenen Rohrstück B selbst sich biegen und die Richtung nach dem Zentrum P der Kugel hin nehmen. Von hier ab haben wir sie nicht mehr weiter verfolgt, sondern nur noch erwähnt, daß sie in ihrem weitern Verlaufe theoretisch einem dünnen Metallstab zu vergleichen wäre (siehe Fig. 41), welcher im Ringstück BR eingeschraubt von einer seitlich einwirkenden Druckkraft p angegriffen werde. — Hier also hätten wir unsere Betrachtungen über den weitern Verlauf der Rumpfachse wieder aufzunehmen.

Das fällt uns erheblich schwerer, als die Untersuchungen über die Gestaltsveränderungen auf der Achsenstrecke im gebogenen Rohrstück B. Ohne die vorhergehende Konstruktion des Knicks bzw. Bruches zwischen H und R würden wir schwerlich imstande gewesen sein, uns richtige Vorstellungen über den weitern Verlauf der Achse machen zu können.

Kompliziert werden die Verhältnisse dadurch, daß sich zum Knickbruch RJH noch die Biegungen der beiden Fragmente T und B an der Knickstelle selber gesellen. Wir wollen uns daher begnügen, den weitern Verlauf der Rumpfachse, die wir uns nun selber, als einen seitlich von P aus belasteten, elastischen Stab denken wollen, wenigstens für die Gleichgewichts- wie für die Maximalbelastung, festzustellen.

Dabei leiten uns folgende Erwägungen:

a) Würde nur der Kontakt zwischen der Kugel P und dem Rohrstück BR bestehen, so müßte die Achse nach dem Verlassen des Rohres ihre Richtung durch das Zentrum der Kugel nehmen (PM').

Unter Bezugnahme auf die Richtung von Druck und Gegendruck finden wir theoretisch die Achse von P aus weitergehend $\parallel$ zu $S—S$ gestellt, also $P\Sigma \parallel SS$ (Fig. 39).

b) Die Relation zwischen der Kugel und dem Stabstück T erfordert nach erfolgtem Knickbruch bei H, daß die neue Achse $P\Sigma$ auch fernerhin nach unserer theoretischen Annahme parallel mit dem Stabstück T verlaufe. Bei Maximalbelastung erhält dieses Stück T die Tangentenrichtung RT. Die maximal belastete Achse wird daher in ihrem weitern Verlaufe parallel dieser Tangente gehen

müssen, somit senkrecht auf den Radius PR des Berührungspunktes R zu konstruieren sein. Sie erhält also die Kurve $\Sigma T_{max.}$, welche das Kugelzentrum P nicht mehr berührt.

c) Soll die Achse nach erfolgter Knickung infolge der seitlichen Belastung p mit allen in Betracht kommenden Faktoren ausgeglichen sein und im statischen Gleichgewicht stehen, so hat sie sich mit dem Kugelzentrum P sowohl, wie mit den Berührungspunkten (Knickpunkten R u. H) in Korrelation zu setzen. Das geschieht konstruktionell, indem wir auf die Mitte der Verbindungslinie HR das Lot und darauf in P wieder eine senkrechte T_0 errichten, die parallel zu HR steht (Fig. 39).

Noch hätten wir in Kürze des **Steißbeinknicks** zu gedenken, jener zweiten Ab- **B. S. 34.**
biegung der Beckenwirbelsäule, welche von LITZMANN und FEHLING an der dreimonatlichen menschlichen Frucht beobachtet wurde.

Sie entsteht durch dieselben mechanischen Momente wie der Lendenknick. **Beckenachse und Rückenstab werden** aber in umgekehrter Weise wie bei dem letztern der **ursprünglichen Achsenrichtung zugebrochen.** Die Masse des Stabes w sowohl, wie namentlich diejenige des Verstärkungsgrates v erscheint beim Menschen zurzeit der Beckendeformierung, d. h. im dritten Monat, schon erheblich reduziert. Wäre dies nicht der Fall, so würde das Steißbein parallel der neuen Achse $M\Sigma$ (Fig. 39) weiterverlaufen.

Ein Gedanke noch darf hier nicht unbeachtet bleiben! —

Wenn man sich auch zu den Begriffbestimmungen Beugung, Bruch, Knickung, Festigkeit, Elastizität usw. mit Vorteil an die Definitionen des Technikers hält und halten kann, so ist doch stets die große Verschiedenartigkeit des Materials im Auge zu behalten, das der Anthropologe und der Techniker für ihre Untersuchungen verwenden. Es ist dies ganz besonders augenscheinlich für die frühern Entwicklungsstadien des Materials, an denen der Entwicklungsmechaniker seine Untersuchungen macht, also in einer Zeit, wo auch sein „Knochenmaterial", die Skelettanlage, sich noch in einem halbfließenden Zustand befindet. Wo daher infolge übermäßiger Beanspruchung des Materials eine Überdehnung oder ein Bruch stattfinden würde, da wird die gedehnte oder gebrochene Stelle durch spontanes „Einfließen" von geeignetem Nährmaterial gefestigt und gestärkt. Und es ist dies mit ein Beweis für das Selbstdifferenzierungs-Vermögen der organischen Substanz.

Am Schlusse unserer Untersuchungen über Lenden- und Steißbeinknick und Beckenkanalkrümmung angelangt, vergleichen wir nochmals unsere aus mathematisch konstruktionellen Deduktionen heraus gewonnenen Zeichnungen mit den Medianschnitten (Fig. 20 bis 25) frühmonatiger menschlicher Früchte und Neugeborenen. Wir können dabei zu unserer großen Genugtuung konstatieren, daß die Formen der Skelettanlage bei den photographischen Aufnahmen und die durch Konstruktion gewonnenen sich decken. Und doch sind wir bei der letzteren von ganz willkürlich gewählten Größenverhältnissen ausgegangen und haben diesen Untersuchungen nur gewisse Korrelationen zugrunde gelegt, welche wir zunächst aus der bloßen Betrachtung der zweimonatigen Frucht (Fig. 28) heraus als kausalbestimmende Faktoren für die Formgestaltung der spätern Frucht glaubten annehmen zu müssen. Diese Größenverhältnisse bestehen hauptsächlich einerseits zwischen Raum und Stoff bzw. zwischen Uterusform und Uterusinhalt, andererseits zwischen den einzelnen Teilen der Frucht in bezug auf gegenseitige Proportionen, Lageverhältnisse und Härtegrade bzw. Elastizität. In welcher Weise diese Relationen physikalisch ausgenützt werden können, darüber soll uns der folgende Abschnitt belehren:

Die eigentliche Ursache des Lendenknicks, welch letzterer bei allen Tierspezies fehlt, wäre somit in den veränderten Raum- und Druckverhältnissen des menschlichen Fruchthalters zu suchen, bedingt durch die Konglomerierung der großen Bauchorgane Leber, Milz und Herz zu einer einheitlichen Zentralkugel im zweiten Uterinmonat der menschlichen Frucht; und diese Erscheinung ist wieder wie alle andern spezifischen Artmerkmale nur eine Teilerscheinung der Folgen eines relativ vermehrten Druckes in der Richtung der Längsachse der Frucht, hervorgerufen durch die Kugelform des menschlichen Uterus.

Wir resumieren wie folgt:

Wirkt nach vollkommener Schließung des Beckenringes im zweiten Monat der Frucht der vermehrte Druck in der Richtung ihrer Längsachse der menschlichen Frucht weiter, so wird nicht nur das Längenwachstum des Zylinderrohres gehemmt, sondern es kommt vor und hinter dem Rohrstück (Beckenring) zu einer Abbiegung bzw. Abknickung der Achse, die sich an dem begleitenden Wirbelstab und dem Beckenrohr selbst manifestiert (Abbiegung des Rohres, Abknickung des Stabes vor und hinter demselben). Es geschieht dies unter der stillschweigenden Voraussetzung, daß ein entsprechender Widerstand oder Gegendruck vorhanden sei. Dieser Gegendruck ist in der Tat vorhanden, und zwar im Vorhandensein einer großen, relativ harten Kugel, die aus Leber, Herz und Milz sich zusammensetzt und im zweiten Fötalmonat beim Menschen relativ sehr groß erscheint, also zu einer Zeit, wo wohl der Beckenring geschlossen, nicht aber der Darmtraktus entwickelt ist.

Die Festigkeit und Widerstandskraft dieses kugelförmigen Gebildes ist nun eine so große, daß sich die hyalinen, weichen Anlagen des Skeletts in ihrer Formbildung danach richten müssen. So gibt diese Eingeweidekugel — so paradox es auch klingen mag — nicht nur dem Druckbaum der Rumpfform, der Wirbelsäule, die erste Form, sondern ebensosehr auch dem Brustkorb, indem erster darüber gekrümmt und letzterer von vorne darüber gestülpt wird.

Und von ebenso entschiedenem Einfluß wird die Kugel für die Formierung des Beckenringes. Die Darmbeinschaufeln werden in ähnlicher Weise nach außen getrieben, wie die hintern Rippen des Brustkorbes. Aber der Durchmesser der Kugel ist größer als derjenige des Beckenringes, und so müssen notgedrungen infolge des vermehrten Längsdruckes durch die härtere Kugel am zylindrischen Beckenrohr Formveränderungen verursacht werden, die als Stauchung, Rohrbiegung, und Knickung des Wirbelstabes zu bezeichnen sind. Auf dieselben Ursachen zurückzuführen sind am andern Rumpfende sodann alle jene Erscheinungen, welche als anthropomorphe in der Formgestaltung des Kopfes und des menschlichen Gehirnes beobachtet werden (HIS).

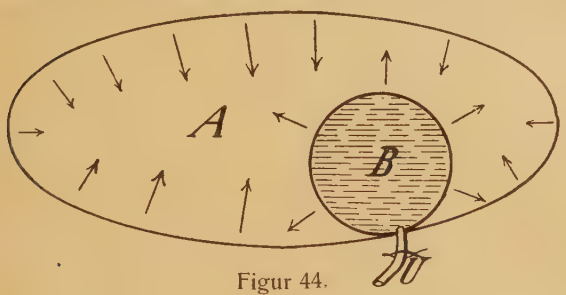
Die Entstehung des Lendenknicks an der Rumpfachse der menschlichen Frucht ist nun aber ihrerseits wieder von den weitgehendsten Folgen begleitet. Aber diese Folgen liegen weniger als ihre Ursachen im Gebiete der Eientwicklung. Sie sind mehr mechanisch-statischer Natur und fallen daher in das Gebiet der Phylogenie der menschlichen Stammesgeschichte. Wir werden ihnen an anderer Stelle wieder begegnen, nachdem wir erst über die Art und Weise der Aufrichtung der Rumpfform nähere Details erfahren haben.

d) Das physikalische Experiment.

Dieser kurze Abschnitt soll uns einige Experimente vorführen, die geeignet sein können, das Zusammenwirken einfacher, physikalischer Kräfte auch im kompliziertest gebauten

Organismus zu demonstrieren, den wir zu diesem Zwecke aber als ein Ganzes, als eine funktionelle Einheit, betrachten müssen.

Wir gehen dabei wieder von dem Gedanken aus: Die Grundform des menschlichen, wie des tierischen Rumpfes ist die Spindel- oder Ballonform mit einer größern Längsachse und kleinern Quer- oder Nebenachsen. Nach H. MEYER ist sie ein „muskulöser Schlauch", nach meiner, etwas modifizierten Auffassung ein einfacher, „elastischer Ballon" von genannter Form.



Figur 44.
Erklärung im Text.

Dieser Ballon wird in Fig. 44 dargestellt durch den länglichen Gummiballon *A*, in dessen Lumen ein anderer, kleinerer Ballon *B* von rundlicher Form eingelassen ist. Durch einen Schlauch steht letzterer mit der Außenwelt in Verbindung, welcher durch die Wandung von *A* hindurchgeht, und durch den die Blase *B* unabhängig von *A* beliebig mit Luft oder Flüssigkeit gefüllt werden kann.

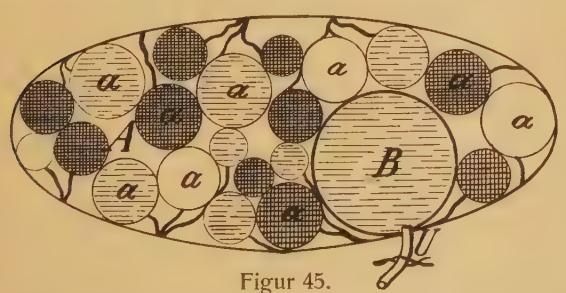
Experiment II. **Exp. II.**

Voraussetzung: Blase *A* und Blase *B* sind elastisch, *A* etwas lufthaltig, nicht ad maximum gespannt, *B* zusammengefallen und leer.

Blase *B* wird durch den Kanal *U* mit Wasser gefüllt und nimmt dabei infolge gleichmäßiger, innerer Spannung Kugelform an, indem sie sich mit zunehmender Füllung exzentrisch vergrößert. Mit zunehmendem Drucke in *B* wird aber auch der Druck in der Blase *A* erhöht. Der gesteigerte Innendruck setzt sich mit dem Inhalt von *A* und *B* ins statische Gleichgewicht durch Ausnützung der Elastizität der Wandungen. Dabei ist nicht allein der Elastizitätsgrad derselben maßgebend, sondern auch Größen- und Lagebeziehungen der beiden Blasen zueinander. Nach erfolgtem Ausgleich setzt das Ganze der weitern Füllung einen bestimmten Druck entgegen, der für einen weitern, bestimmten Füllungsgrad konstant ist.

Experiment III. **Exp. III.**

Voraussetzung: Wie in Experiment II, mit dem Unterschied, daß die größere Blase *A*, statt mit Luft, mit einer beträchtlichen Anzahl kleinerer Ballonkugeln *a, a* angefüllt ist, von denen die einen Luft, andere Flüssigkeit, ein dritter Teil halbfeste, breiige Massen enthält.



Figur 45.

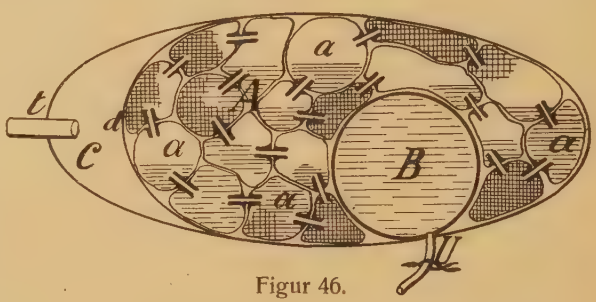
a) Wir wiederholen das Experiment, indem wir zu wiederholten Malen die Blase *B* mittelst des Röhrchens *U* füllen und leeren. Der Effekt auf die Wandung von *A* und die Rückwirkung auf *B* ist derselbe wie in Experiment I. Durch Kontaktwirkung werden die kleinen Blasen *a, a* in *A*, solange sie frei beweglich sind, aneinander verschoben, und zwar in der Weise, daß die leichtern allmählich nach oben steigen und die schweren fallen. Von wesentlicher Bedeutung ist dabei der Grad des Reibungswiderstandes zwischen den einzelnen Blasen, sowie der Grad der Elastizität (Dehnungsfähigkeit) namentlich derjenigen, welche luftförmigen Inhalt haben.

b) Denken wir uns nun einzelne oder gar alle dieser Blasen durch Schnürchen oder dergleichen an der Innenwand von *A* befestigt, so wird die Bewegung jedes einzelnen Bläschens gehemmt je nach seiner Bewegungsfähigkeit und derjenigen seiner Nachbarkugeln.

c) Durch Anlegen kleiner Verbindungskanälchen zwischen den einzelnen gefüllten Kugeln endlich werden beim Experimentieren nicht mehr die Kugeln selbst verschoben, sondern nur ihr Inhalt. Unter gegenseitigem Pressen und Stoßen der Kugeln gelangt schließlich der schwerere Inhalt in die tieferliegenden Blasen hinab, was sich unschwer kontrollieren läßt, wenn wir dem ganzen Ballon *A* eine andere Stellung geben und das Experiment wiederholen. Dabei ist lediglich die Schwerkraft maßgebend. Infolge einer regelmäßigen Turnusbewegung werden aber auch gasförmige und flüssige Contenta in derselben Richtung weiter bewegt.

Exp. IV. *Experiment IV.*

Der mechanisch treibende Fator wird verdoppelt, indem wir am Kopfende des Ballons seine elastische Wand verdoppeln und den so abgeschiedenen Raum von außen her, durch das Rohr *t* mit Luft füllen und nachher wieder entleeren. (Fig. 46.)



Figur 46.

Dabei werden die Manipulationen von Experiment III in beliebiger Weise durch Füllung von *B* wiederholt.

Es ist leicht zu erkennen, daß mit dem Experiment IV alle hauptsächlichen mechanischen Funktionen des Körpers, die man als „vegative" zu bezeichnen pflegt, im Prinzipe wiedergegeben sind. Wir sind also imstande, auf mechanische Weise diese komplizierten Körperfunktionen auszuführen, sobald wir sie als Funktion des Ganzen rein physikalisch und nicht nur systematisch physiologisch zu analysieren beginnen. Auch hier ist mehr auf das Nebeneinander und den gegenseitigen Einfluß Rücksicht zu nehmen (Kontaktwirkung).

Das Endresultat des Experimentes ist von folgenden Faktoren abhängig gemacht:

1. von dem Elastizitätskoeffizienten der äußern Blasenwand *A*;
2. von dem Elastizitätskoeffizienten der Blasenwand von *B*;
3. von den Elastizitätskoeffizienten der Zwischenwand *d* und der kleineren Blasen *a*, *a*, *a*;
4. von der Form der Blase *A*;
5. von der Lage der Blase *B*;
6. von dem relativen spez. Gewicht der Contenta von *B*, *C* und *a*, *a*, *a*;
7. von dem Reibungskoeffizienten der Blasen *a*, *a*, *a* unter sich und mit der Innenfläche *A*;
8. von den Befestigungsverhältnissen der Blasenkugel *B* und *a*, *a*, *a* unter sich und mit der Rumpfblase *A*;
9. vom Lumen der Verbindungskanälchen der Kugeln *a*, *a* zu *a*, *a* usw.

Es könnten noch eine Menge von Faktoren angeführt werden, die geeignet sind, das Resultat zeitlich und örtlich, wie dynamisch zu beeinflussen. Ich will nur darauf hinweisen, das zum Beispiel auch die Wärme durch verschiedenartige Ausdehnung der Contenta einen nicht unwesentlichen Faktor am Gelingen des Experimentes ausmacht.

So mannigfaltig die Relationen zwischen den verschiedenen mechanischen Faktoren sich auch gestalten können, indem je zwei einzelne oder auch mehrere Gruppen sich gegenseitig in Spannungsausgleich setzen, so lassen sich doch diese neun Faktoren in zwei Hauptgruppen ordnen. Die eine davon umfaßt all die elastischen Elemente, das Wandmaterial der verschiedenen, zum Teil ineinandergeschachtelten Blasen und Raumteile *A, B, a, a, a, C.*

Der zweiten Gruppe gehört das rein passiv bewegte Füllungsmaterial an, das in verschiedlichem Aggregatzustande den Inhalt dieser Blasenkugeln bildet. Wir wollen es unter einem Sammelbegriff zusammenfassen und mit dem neutralen Namen „Contenta" bezeichnen, gleichgültig, welcher Blase dieser Inhalt auch angehören und welchen Aggregatzustandes er auch sein möge.

Wenn wir versucht haben, in diesem rein physikalischen Experiment die Erscheinungen der vegetativen Lebensvorgänge im Körper nachzuahmen, indem wir von der Formgestalt der Rumpfblase ausgehend diese letztere durch einen elastischen Ballon ersetzen, dessen Lumen durch das Anbringen einer elastischen Zwischenwand *d* (Zwerchfell) in zwei Räume geteilt wird, während die Urinblase und die Darmhaustren durch die gefüllten Ballons *B* und *a, a, a* nachgeahmt werden, so hinkt unser experimenteller Vergleich nur noch in einem Punkte, den wir leider mit unserm Material nicht ausmerzen können.

Mögen wir nämlich in unserm Experiment zur Darstellung der elastischen Blasen auch das allerbeste Kautschukmaterial verwenden — es bleibt in seiner Leistungsfähigkeit doch immer noch hinter dem Material des Anatomen und Physiologen zurück. Wir rechnen nur mit dem Elastizitätskoeffizienten des Kautschuks, der durch äußere Kräfte passiv in Anspruch genommen wird. Der Physiologe aber kennt in der Muskulatur der Rumpfblase, wie in der Blasen- und Darmmuskulatur ein Material, das, wenn auch nicht überall willkürlich, so doch „reflektorisch" einer gesteigerten Elastizität fähig ist: denn diese Muskelgewebe besitzen *Kontraktilität*, d. h. aktives Elastizitätsvermögen.

(Fortsetzung der Experimente: siehe Experiment XII im Zweiten Teil.)

Worin besteht nun der prinzipielle Unterschied zwischen dem „toten" Kautschukmaterial und dem „lebenden" Muskelgewebe? — Auf diese Frage spitzt sich nun offenbar nach unserm Experiment die wichtige Frage nach dem Wesen und der Entstehung des Lebens überhaupt zu. Es mag sich daher verlohnen, hier nochmals einen kleinen Exkurs zu machen, diesmal in das Gebiet der Mikrophysik und der Chemie.

e) Tote und lebende Substanz; Elastizität und Kontraktilität. Selbstdifferenzierung des Plasmas.

Die Frage, ob prinzipielle Unterschiedsmerkmale zwischen organischer und anorganischer Materie bestehen, muß nach dem heutigen Stand der Wissenschaft mit aller Entschiedenheit verneint werden.

Schon mit der Entdeckung WÖHLERs (1828), der zum ersten Male Harnstoff auf synthetischem Wege herstellte, war die Kluft überbrückt, die bisher organische und anorganische Substanz scharf voneinander getrennt hatte. Seither hat die Chemie die wunderbarsten Erfolge zu verzeichnen gehabt, spez. was die Entdeckung der Zusammensetzung der Eiweißkörper, der kompliziertesten, bis anhin bekannten Kohlenstoffverbindungen anbetrifft. Und ihnen zur Seite stehen die glänzenden Forschungen der neueren Zeit, der Chemophysiker und der Serologen, der Biochemie, der Hormonenlehre und der Immunitätsforschung. Sie haben nicht nur alle das Eine gemeinsam, daß sie Aufschluß geben über die äußerst komplizierten Strukturverhältnisse des Blutserums im allgemeinen und der Drüsen-

sekrete im besonderen — sie haben auch die chemischen Vorgänge im Körper aufgedeckt, die wir unter dem Sammelnamen „Autosekretion" zusammenfassen.

Die übereinstimmenden Resultate dieser Forscher sind erreicht worden einmal durch die unermüdlichen und sorgfältigen Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung und die biologische Funktion der Zelle. Da die einzelne Zelle in ihren Stoffwechselvorgängen naturgemäß nur mit Spuren von Material zu arbeiten vermag, mußten aber die Serologie und Immunitätsforschung das flüssige Extrakt einer größern Gruppe gleich arbeitender Zellen (Drüsensekrete, spezifische Sera), sowie dasjenige des ganzen Körpers (Blutserum) verschiedener Individuen und Arten vergleichend ins Auge fassen. Hieraus resultieren die neuern Vorstellungen über arteigenes und artfremdes, bluteigenes und blutfremdes Material. Von besonderer Bedeutung für die Kenntnis der Zellfunktion aber ist die Entdeckung EMIL FISCHERs geworden, wonach Zellen mit besonderer Funktion ihre spezifisch gebauten Bestandteile und insbesondere in gewissen spez. Fermenten das Mittel besitzen, nur auf chemisch bestimmte Nahrung abgepaßt zu sein, ähnlich etwa, wie ein Schloß mechanisch nur von einem Schlüssel geöffnet werden kann.

So führen uns die Resultate der neuesten biochemischen Forschung zu der Überzeugung, daß das „Substrat des Lebens" die leblose, organische Grundsubstanz auch ein chemisch definierbarer Körper ist, freilich von höchst komplizierter Zusammensetzung; daß ferner für uns die Möglichkeit nahe liegt, früher oder später diese Substanz synthetisch darstellen zu können. Was wir von den chemischen Eigenschaften der Fermente, Enzyme, Hormonen wissen, ist auch nicht mehr weit von dem entfernt, was gewöhnlich unter „Willkür" des Lebens verstanden wird. Und doch haben wir es dabei immer noch mit der leblosen Materie zu tun, mit einer sehr labilen, chemisch leicht umsetzbaren und veränderlichen Substanz.

Diese animale Grundsubstanz scheint sich durch langsamen Entwicklungsprozeß allmählich von selbst vervollkommnet zu haben, indem auf ihre Moleküle immer kompliziertere Verbindungen von außen her einwirkten und mit ihr in Austausch traten (Assimilation und Dissimilation), nachdem sie selber einen ähnlichen Entwicklungsprozeß durchlaufen hatten. Das Leben eines hochorganisierten Wesens wäre somit nur denkbar beim gleichzeitigen Vorhandensein anderer hochorganisierter Substanzen, die ihm „als Nahrung" dienen können.

Mit der Definition von „Leben" und „lebender Substanz" muß man heute aber sehr vorsichtig sein.

Physikalisch aufgefaßt ist „Leben" stets eine Bewegung, sei es eine Bewegung der lebenden Substanz als Ganzes, oder eine Verschiebung einzelner Teile derselben unter sich. Die Definitionen des Begriffes „Leben", wie sie die frühern Autoren gegeben haben, sind daher längst nicht mehr haltbar.

Der Unterschied im „Leben" anorganischer und organischer Substanz ist also nur ein gradueller, qualitativ und quantitativ verschiedener.

Wenn nun das Leben in letzter Instanz als eine Art von Bewegung aufgefaßt werden muß, so muß der energetische Anstoß hierzu entweder in innerer potenzieller Energie (Spannkraft) oder in äußerer, kinetischer Energie gesucht werden, oder aber in beiden zugleich.

Sobald wir aber die organische Substanz als eine an und für sich leblose Materie auffassen, welcher das Leben nur als vorübergehende Funktion zukommt, so ist die Möglichkeit vorhanden, daß die einmal in ihr vorhandene Energie durch Austausch mit der Außenwelt vermehrt oder vermindert werden kann. Ergibt sich bei diesem Mechanochemischen Spannungsaustausch der toten organischen Stubstanz mit der Außenwelt ein

Plus an Energie zu ihren Gunsten, so kann dieser Überschuß entweder sofort wieder an die Außenwelt abgegeben (aktuelle Energie) oder aber in ihrem Innern aufgestapelt werden (potenzielle Energie).

Um aber solche akkumulierte, jeder Zeit zur Verfügung stehende Kraft zur Arbeitsleistung verwerten zu können, ist das Vorhandensein einfacher Maschinen (Keil, Hebel, schiefe Ebene, Voltaische Säule usw.) erforderlich.

Die Arbeitsleistung dieser Maschinen geschieht sodann nach rein physikalischen Gesetzen; ihr Nutzeffekt ist genau zu berechnen nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie von R. MAYER.

Aber die an und für sich tote, organische Substanz erhält durch das Plus von Energie, die zu ihren Gunsten frei und aufgestapelt wird, noch nicht das Prädikat „lebendig". Sie gleicht vielmehr noch einem geladenen Akkumulator. Und solcher Akkumulatorenanlagen besitzt jeder höhere tierische Organismus in der Tat eine ganze Menge. Ist ja doch bekanntlich jede Muskelfaser einer Voltaischen Säule vergleichbar. Die Muskelarbeit wird dabei bekanntlich geleistet durch die chemische Energie, welche bei der Oxydation des Blutes und dem Abbau der aufgenommenen Nahrung frei wird.

Zum bessern Verständnis des Folgenden mag es angezeigt erscheinen, gewisse Unterschiede im physikalischen Verhalten der anorganischen und organischen Substanz schärfer hervorzuheben, wenn auch diese Unterschiede, gleich wie bei den chemischen Eigenschaften jener Körper nicht prinzipiell, sondern nur graduell gedacht sein sollen.

Wir fassen dabei als Paradigma der organischen Substanz am besten die Leibessubstanz der einzelligen Amöbe ins Auge. Daran sind zwei physikalische Eigenschaften als bedeutsam hervorzuheben:

1. Die protoplasmatische Substanz ist zähflüssig. Einzig in diesem Zustande überwiegt die Adhäsionskraft die Kohäsionskraft der Moleküle.

Und da dieser Aggregatzustand die Mitte hält zwischen dem festen und dem tropfbar flüssigen, imponiert er dem ersten gegenüber als relativ flüssig, dem letztern aber als relativ fest.

2. Das Protoplasma ist eine kolloidale Substanz und als solche nicht homogen, denn sie besteht aus der Suspensionsflüssigkeit (Serum) und den darin suspendierten Plasmaskugeln. Kristallologisch ist es den „wahren Gallerten" zuzuschreiben (FRANKENHAIN), den „heterogenen, amorphen Körpern oder schwammigen Aggregaten." (O. LEHMANN).

Wenn nun der zähflüssige Aggregatzustand durch sein zweifaches Auftreten für die organische Substanz schon einen wesentlichen Vorteil bedeutet, so ist dies in weit höherem Maße der Fall bei der Inhomogenität (Kolloidalzustand) des Stoffes.

Es ist nämlich zum Vornherein einzusehen, daß z. B. wiederholte Erschütterungen auf die verschiedenen Moleküle auch verschiedenartigen Einfluß haben, da diesen wenigstens eine verschiedengradige Beweglichkeit zukommen muß. Auch die Erscheinungen der Schwerkraft sind bei der Bewegung der kolloidalen Masse und in einzelnen Molekülen derselben verschieden. Sie sind in ihrem Verhalten durchaus zu vergleichen mit den Ballonkugeln *a, a, a* in unserm Experiment (Fig. 45) und vergleichbar mit den Vorgängen in jeder Suspensionsflüssigkeit, der Sandablagerung im Gletscherbach sowohl, wie der Rahmbildung der ruhigstehenden Milch. Schon aus diesen Gründen allein spielt die räumliche Orientierung des Organismus mit Rücksichtnahme auf die Richtlinie der Schwerkraft in der Kausalanalyse der Form die wichtigste Rolle (Geotropismus).

Selbstverständlich wechseln mit dem Grad der Zerteilung im Medium bei gröbster, mittelfeiner und feinster Dispersion sofort auch die mechano-chemischen und elektrischen Verhältnisse. Für die Plasmakolloide, speziell die Eiweißkörper, ist nachgewiesen (G. v. TSCHERMACK), daß sie nicht bloß als Binder von Ionen, sondern auch als Produzenten von solchen fungieren können. Aber auch die rein physikalischen Vorgänge in all diesen Dispersionen scheinen nur graduell verschieden und von der relativen Beweglichkeit, der mechanischen Labilität der suspendierten Teilchen im mehr oder weniger zusammenhängenden Medium abhängig zu sein. Im Kolloidalzustand spielt die Oberflächenspannung (WO. OSTWALD) eine hervorragende Rolle, wobei zu bemerken ist, daß gerade in Kolloiden Energie aufgespeichert und zurückgehalten wird.

Die Wissenschaft hat für die Erklärung der Entstehung des Lebens die vitale Kraft längst beiseite gesetzt, ohne indes dafür ein sicheres Äquivalent zu finden. Wäre es nicht möglich, die Schwerkraft oder eine andere bekannte physikalische Kraft an ihre Stelle treten zu lassen?

Bei der generellen Bildung der organischen Substanz spielt der chemische (mikrophysikalische) Faktor sicherlich die primäre Rolle. Diese Substanz aber ins Leben zu rufen, vermochte nur der mechanische Faktor, vor allem die Schwerkraft in Verbindung mit wechselnden Druckspannungen auf die elastisch plasmatische Masse.

MAX VERWORN, dem wir das intensive Studium mechanischer Einflüsse auf die Zelle verdanken, schreibt (Allgemeine Physiologie, S. 224. Jena 1895) über die Produktion mechanischer Energie:

„Alle lebendige Energie bewegt sich, d. h. die einzelnen Punkte ihres materiellen Systems verändern ihre Lage. Daraus resultiert, je nach den speziellen Bedingungen, entweder eine Verschiebung der einzelnen Teilchen bei gleichbleibender, äußerer Form, oder eine Ortsveränderung des Ganzen (Lokomotion), oder schließlich mehreres gleichzeitig."

VERWORN unterscheidet sodann mehrere Bewegungsmodi:

1. Passive Bewegung.
2. Bewegung durch Quellung der Zellwände.
3. Bewegung durch Veränderung des Zellturgos.
4. Bewegung durch Veränderung des spezifischen Gewichts der Zelle.
5. Bewegung durch Sekretion von seiten der Zelle.
6. Bewegung durch Wachstum der Zelle.
7. Bewegung durch Kontraktion und Expansion des Zellkörpers (amöboide Bewegung, Muskelbewegung — Flimmerbewegung).

Ich möchte diesen sieben Bewegungsmodi noch einen achten Modus beifügen:

8. Bewegung durch ungleichmäßige Belastung der Zelle.

Diese Belastung kann sowohl eine äußere wie eine innere sein und ist hervorgerufen entweder durch chemische oder physikalische Vorgänge, wenn man einen solchen Unterschied überhaupt machen will.

Ich muß nämlich hier mit Nachdruck darauf hinweisen, daß rein chemische Vorgänge (ich weise hier auf das bekannte Brausepulverexperiment hin) vor und nach dem chemischen Prozeß vollkommen verschiedene physikalische Verhältnisse schaffen können, weil der Aggregatzustand der Verbindungen nach der Umlagerung der Atome sich anders gestaltet als vor demselben. So können im geschlossenen Raume Spannungen und Druckverhältnisse erzeugt werden, die vorher nicht bestanden haben.

Bei dem komplizierten Bau der organischen Substanz wird es nun denkbar, daß Umsetzungen in Seitenketten stattfinden, ohne daß dadurch der Kern der Verbindung in Mitleidenschaft gezogen wird. Dadurch werden lokal leichte Spannungen erzeugt, ohne daß die Arteigenschaft des Eiweißkörpers und seine Konstitution darunter merklich leiden würden. Schon diese rein chemischen Vorgänge im Innern der organischen Substanz selber können Belastungsdifferenzen und lokale Veränderungen des spezifischen Gewichtes und damit Bewegungsvorgänge im Innern der Zelle zur Folge haben (s. Zweiter Teil, Molekularkonstitution).

Faßt man noch dazu die mechanischen Lebensäußerungen dieser Zellsubstanz als die eines einzelligen Organismus (Amöbe) ins Auge, so kommt dadurch eine verschiedenartige Belastung der Leibessubstanz zustande, daß zu gleicher Zeit ganze zusammengesetzte „Teile der Außenwelt" von verschiedenem spezifischem Gewicht in den Organismus aufgenommen (eingeatmet, gefressen) werden. Dieser Vorgang beruht wie LOEB, RHUMBLER u. a. gezeigt haben, auf rein mechanischen Faktoren, wie Oberflächenspannung, Adhäsionskraft usw. Nach Vollzug dieser Vorgänge müssen wir, so paradox es auch klingen mag, von einer „innern und äußern Außenwelt" des Individuums sprechen.

Diese innere und äußere Welt tritt nun mit dem individuellen Protoplasma durch Spannungsausgleich in chemische und mechanische Korrelation. In einem gegebenen Zeitmoment braucht aber der innere und der äußere Spannungsausgleich des Organismus mit der Außenwelt nicht überall der gleiche zu sein. Er ist es nicht aus zwei Gründen, die wir bereits kennen:

1. ist das individuelle Protoplasma physikalisch wie chemisch nicht homogen,
2. ist auch dem kleinen Individuum gegenüber die ganze große Außenwelt noch viel weniger homogen. Sie existiert im groben und ganzen in drei verschiedenen Aggregatzuständen nicht nur völlig verschiedenen spezifischen Gewichts, sondern auch von sehr verschiedener physikalischer und chemischer Festigkeit, Stabilität und verschiedener Expansionskraft.

Nehmen wir nun für die Gesamtheit des individuellen Protoplasmas noch ein einheitliches spezifisches Gewicht an — was streng genommen schon nach den angeführten Erörterungen kaum zutrifft —, so wird wohl in den allerseltensten Fällen das aufgenommene Partikelchen (die „innere Außenwelt") mit seinem spezifischen Gewicht vollkommen damit übereinstimmen. Auch die allerkleinsten Gewichtsschwankungen sind hierbei von Bedeutung.

Ist die innere Welt (Kontenta) aber schwerer als die Leibesmasse, so beginnt sie notgedrungen in derselben zu sinken. Ist sie leichter, so wird sie in derselben in die Höhe steigen. So erhalten wir, noch bevor der geringste chemische Spannungsausgleich zwischen Innenwelt (Kontenta) und Individuum stattgefunden hat, schon eine Menge von mechanophysikalischen Relationen, die allein nur durch die ungleiche Belastung entstanden sind.

Und diese Verhältnisse bleiben sich analog, wie wir an anderer Stelle gezeigt haben, gleichviel, ob wir es mit einem einzelligen oder mit einem höher organisierten, mehrzelligen Individuum zu tun haben. Die höhere Organisation der Leibessubstanz durch Zellteilung und Organbildung beruht ja nur auf dem Prinzip der Arbeitsteilung der Leibessubstanz und ist als die notwendige Folge der Heterogenität des Stoffes anzusehen. Sie ist einmal die Folge der Einwirkung der Schwerkraft auf verschieden bewegliche Moleküle gegen die treibenden Kräfte der innern und äußern Welt. Es kommen also hier, in etwas modifizierter Weise, die Gesetze von Elastizität und Festigkeit in Betracht, welche der Techniker für seine anorganischen (Stein, Eisen) und organischen (Holz), jeden-

falls aber „toten" Materialien aufstellt. Die passive Bewegung — also gewissermaßen das passive Leben — ist somit prinzipiell gleich und doch für jeden Stoff spezifisch.

Was wir aber unter „Leben" gewöhnlich verstehen, ist ja Aktivität — aktive Bewegung. Wie kommt diese zustande?

Das Elastizitätsvermögen der zähflüssigen, organischen Substanz, sagten wir, ist im Vergleich zu demjenigen der anorganischen Substanz entschieden erhöht, und zwar auf Kosten des Festigkeitsmomentes. Diese vermehrte, passive Elastizität der organischen toten Substanz aber muß sich noch zur aktiven Elastizität, d. i. zur Kontraktilität steigern, um zur prävalierenden „lebenden" Substanz gestempelt zu werden.

Wird nun etwa, rein technisch genommen, diese Prävalenz der lebenden Substanz in vermehrter Härte beruhen? Keineswegs. Dann würde wohl unter gewöhnlichen Verhältnissen ein rascher Ab- und Aufbau der Substanz zur Unmöglichkeit werden. Sie muß also eher weicher sein und von leicht variablem Gefüge. Gerät sie dadurch unter Umständen mechanisch auch in Nachteil, so erhält sie dafür einen viel wertvolleren Ersatz im enorm gesteigerten Elastizitätsvermögen, das bis zur „willkürlichen" Elastizitätsfähigkeit führen kann.

Das Elastizitätsvermögen eines anorganischen Körpers beruht in der Fähigkeit, auf einen äußern Druck hin seine Moleküle bis zu einem gewissen Grade zu verschieben und nach Aufhören des Druckes wieder in die frühere Lage zurückkehren zu lassen. Dazu aber muß die Materie homogen sein, da sonst beweglichere Teile dem Drucke leichter nachgeben würden als weniger beweglichere, d. h. Teile von festerem Gefüge. Nun besitzt aber die organische Substanz in ihrer Gesamtheit kein homogenes Gefüge. Wenn daher eine Kraft mehrmals in gleicher Richtung und von derselben Stelle aus auf diese Substanz einwirkt, so verhalten sich ihre Moleküle etwa ähnlich wie die Sandkörner auf der CHLADNYschen Platte: es werden durch Wellenbewegung bestimmte Figuren erzeugt, die sich ändern, sobald die Angriffsstellen des streichenden Fiedelbogens sich verschieben.

Jede membranlose, plasmatische Zelle kann so schon durch rein mechanische Erschütterungen zur membranösen Zelle werden, oder sich im Innern verstärken, indem die beweglicheren flüssigen Moleküle des Serums von der Oberfläche weg nach innen getrieben werden. Teile des weniger beweglichen Plasmas setzen sich außen an und werden zur Membran zusammengeschweißt; im Grunde also ein rein mechanischer Vorgang. Auch die Bildung des Kollodiumhäutchens durch Verdunsten wäre hierher zu rechnen (zentrifugale Verdichtung).

Oder umgekehrt: Besitzt die plasmatische Substanz eine größere Kohäsionskraft, dann findet der umgekehrte Prozeß statt: Der physikalisch und zugleich auch chemisch stabilere Teil der Zellsubstanz, der Kern, bleibt im Zentrum der Zelle. Die Zelle verdichtet sich im Zentrum und die beweglicheren Teile fliehen an die Peripherie (zentripetale Verdichtung).

Bei diesen Vorgängen fällt dem Faktor Adhäsion eine bedeutungsvolle Rolle zu.

Auch mechanisch schon erfolgt nämlich eine Teilung der Zellsubstanz in *Nucleus, Plasma und Serum.* Diese drei Bestandteile der Zelle aber sind, wie neuere Untersuchungen von Biologen beweisen, in ebenso hohem Grade auch chemisch und energetisch höchst ungleichwertig, und in dieser verschiedenen Valenz auch ungleich stabil. Hierin liegt das *Prinzip der Arbeitsteilung* begründet.

Schon die Erscheinungen der Elastizität in einem lebenden Körper, sofern diese nicht bloß passive, sondern in der Tat auch aktiv-kontraktorische sein sollen, müssen mit einer gewissen Arbeitsleistung verbunden sein. Eine solche aber kann nur mittelst Maschinen ausgeführt werden.

Fassen wir nun die drei Bestandteilgruppen der Zellsubstanz in Hinsicht auf die Beweglichkeit ihrer Moleküle näher ins Auge.

Die Verschiebungselastizität einer flüssigen Substanz (Serum) ist, wie ihre Volumelastizität, so gut wie Null. Etwa 50—75% der protoplasmatischen und organischen Substanz aber besteht bekanntlich aus Wasser. Das Elastizitäts- und Plastizitätsvermögen, das wir bei der animalen Substanz so hoch angeschlagen haben, muß somit den beiden andern Gruppen, der plasmatischen und der nukleoiden Substanz allein zufallen, und zwar offenbar vorzugsweise der Erstern.

Diese Fähigkeiten des Plasmas gehen auch mit Bildung der Zellwand in diese über. In dieser Elastizität aber liegt die mechanische Widerstandskraft des Organismus gegenüber der Außenwelt, der innern sowohl wie der äußern festgelegt. Das geht umumstößlich aus unsern angeführten Experimenten II—IV hervor.

Der lebende, tierische Organismus hat also — und darauf ist bei den Unter- B.S. 35.
suchungen mehr als bis anhin Bedacht zu nehmen — **zu jeder Zeit mechanisch wie chemisch nach zwei Seiten hin Front zu machen.**

Zuerst hat er sich mit seiner innern Außenwelt, den Kontenta, ins Gleichgewicht zu setzen, worauf erst das Ganze als Einheit der äußern Welt zu weiterm Ausgleich gegenübertritt (aufgenommene Atmungsluft und Nahrung, sowie Exkrete).

Selbstverständlich aber vollzieht sich dieser doppelte Spannungsausgleich de fakto nach beiden Fronten hin zu gleicher Zeit so, daß normalerweise der ganze Organismus in jedem Zeitmoment auch in mechano-statischer Gleichgewichtslage bleibt.

Diese Spannungsausgleiche würden sich auch in gleicher Weise an jeder toten Materie vollziehen, sobald man hier vom gleichzeitigen Vorhandensein einer innern und äußern Außenwelt sprechen würde (Ballon). Wir betonen hier nochmals, daß gerade in diesem Punkte ein durchgreifender und prinzipieller Unterschied besteht im Verhalten des tierischen und des pflanzlichen Organismus. Die Pflanze kennt wie die anorganische Natur stets nur einen Ausgleich nach einer Front. — „Sie frißt niemals" (C. MEZ).

Es bliebe hier noch zu erwähnen, daß der höhere, tierische Organismus seine Körpersubstanz nach außen, also auch im Kontakte gegen die „innere" Außenwelt hin, durch einen eigengearteten Überzug abschließt: die Epidermis. Wir finden sie überall da, aber auch nur da, wo die Körpersubstanz „mit der Außenwelt" in Berührung tritt. Die Konsequenz dieses histogenetischen Prinzips scheint so groß zu sein, daß wir sogar das Vorhandensein oder Fehlen des epidermoiden Gebildes diagnostisch da verwenden können, wo die exkretorische Außenwelt durch Ausscheidung aus der Leibessubstanz hervorgeht (Nierenepithel). — Haben wir nun auf der einen Seite die hochwertigen chemischen und physikalischen Eigenschaften der leblosen organischen Substanz kennen gelernt, und auf der andern Seite am lebenden Organismus bereits das Vorhandensein maschineller Einrichtungen (Muskelfasern) erkannt, so bedürfen wir, um die spontane Entstehung des Lebens erklären zu können, d. h. das Auftreten einer aktiven Lebensäußerung an einer sonst als tot gedachten Masse nur noch eines Doppelgliedes in der Kettenfolge der Kausalmomente einer natürlichen Entwicklungsgeschichte.

Es ist dies:

a) die Aufgabe, eine spontane Entstehung der maschinellen Einrichtungen nachzuweisen, welche die Arbeitsleistungen im lebenden Organismus hervorzubringen haben, wie sie der experimentelle Vorgang nur unter Anwendung äußerer Kräfte in analoger Weise vollzogen hat (siehe Exp. II, III u. IV, Fig. 45,46);

b) das auslösende Moment zu finden, das die Maschine in Gang zu setzen hat, bzw. ihre Tätigkeit verzögert oder hinausschiebt und erst wieder auf andere, später erfolgende Reize hin entfalten läßt.

Beide Faktoren entstehen gleichzeitig infolge Arbeitsteilung der organischen Substanz, wie wir bald ersehen werden.

Wir hatten eben als Paradigma für den einzelligen Organismus den Zelleib der Amöbe gewählt. Er ist ohne Zweifel „lebend", denn er bewegt sich. Aber wie sollte in diesem einzelligen, halbflüssigen Protoplasmaleib eine maschinelle Anlage denkbar sein? Man müßte also annehmen, daß „Leben" auch schon ohne maschinelle Anlage bestanden habe.

Diese Fragestellung bringt uns vor die Alternative, entweder den Begriff „Leben" ganz bedeutend zu erweitern, indem wir ihn beispielsweise auch auf die ungeformten Enzyme ausdehnen, welche eine ähnliche katalytische Kontaktwirkung hervorzurufen imstande sind, wie die geformten Fermente. Oder aber:

Wir müssen den Begriff „Leben" nur auf solche Organismen übertragen, bei denen nachweisbar eine maschinelle Anlage vorhanden wäre. Mag man sich diese aber noch so einfach denken, wie man will, — wohl kaum ein Naturforscher würde sich mit dieser Auffassung einverstanden erklären. Naturgeschichtlich viel logischer ist daher die andere Auffassung: „Leben kommt jeder Materie zu, die wir kennen, nur in graduell höchst verschiedener Form und Intensität" (s. O. LEHMANN: Flüssige Kristalle).

Wir nehmen ein befruchtetes Hühnerei und ein Gerstenkorn zur Hand, das in Jahrzehnte langem Schlaf auf dem Kornspeicher gelegen. Beide sind leblos, beide gehen zugrunde, wenn sie nicht durch günstige, äußere Verhältnisse ins Leben gerufen werden, das Ei vielleicht nach Wochen, das Gerstenkorn nach Jahrhunderten. Durch Zufuhr genau dosierter Kalorienmengen aber wird das Erstere im Brutschranke, durch osmotische Aufnahme von Wasser das Gerstenkorn in der Erde allmählich zum Leben erweckt. Den Anstoß zur Entstehung des Lebens gibt in beiden Fällen bloße Zufuhr von Bewegungsenergien zur hochpotenzierten, organischen aber „toten" Substanz.

Auf diese Zufuhr von Bewegungsenergie reagieren nun offenbar die Molekülgruppen im schlummernden, protoplasmatischen Keime ungleich schon aus dem Grunde, weil ihnen von vornherein verschiedenartige chemische Konstitutionen und verschiedene physikalische Beweglichkeit der Moleküle, wie auch eine verschiedengradige, energetische Potenz zukommt. Das Relativitätsprinzip hat daher schon in diesen, wie in den Vorgängen der Weiterentwicklung des Individuums das wichtigste Wort. Nur durch eine verschiedenartige Reaktion und ungleiche Reaktionsfähigkeit der Molekülgruppen auf die zugeführte Bewegungsenergie hin läßt sich z. B. im Hühnerei die Entstehung des Lebens erklären. Alle Moleküle werden von der zugeführten Brutwärme gleichmäßig betroffen. Gleichwohl scheint der Effekt bei den drei Protoplasmagruppen ein ganz verschiedenartiger und verschiedengradiger zu sein. — Bleiben die zur Entfaltung des Lebens notwendigen Bedingungen beim Gerstenkorn oder Hühnerei aus, so zerfällt diese „tote" organische Substanz, ohne je „zum Leben" erweckt worden zu sein durch andere äußere Einflüsse, und zwar um so früher und um so rascher, je komplizierter sie entwickelt ist.

Wie verschieden die Moleküle selbst einer anorganischen Substanz (Mischenergie) sich erhalten können, chemisch und mechanisch, das zu zeigen ist eine neuere technische Erfindung geeignet. Prof. HANNOVER in Kopenhagen hielt den Erstarrungsprozeß einer Bleiantimonlegierung auf in dem Momente, wo die primäre Bleikristallisation noch flüssig ist. Durch Zentrifugieren ward alsdann das flüssige Antimon herausgeschleudert und so

eine poröse Bleiplatte gewonnen. Es spielt also hier ebenso die relative Beweglichkeit der beiden verschiedenartigen Molekülgruppen der Legierung mit, wie die Molekulardistanz und die innere Reibung (Adhäsion), genau wie zwischen den Kugeln *aa* unseres Experimentes III. Die Kenntnis der Molekularphysik der Körper ist in neuster Zeit, namentlich durch die Entdeckung der flüssigen Kristalle wesentlich gefördert worden.

Zu diesen fließenden und flüssigen Kristallen rechnet O. LEHMANN auch das Myelin und die myelogenen Körper, Bestände des Protoplasmas. Da sie selber Gestaltungskraft besitzen, können sie nicht dem flüssigen Serum, sondern nur der nucleoiden oder plasmatischen Substanz angehören. Und diese beiden letzteren sind, da ihnen allein das Plastizitätsvermögen zukommt, in der Gestaltbildung des Körpers die einzigen formbildenden Elemente. Die flüssigen Bestandteile des Körpers: Serum, Blut, Urin usw. nehmen daran nur insofern teil, als sie funktionell passiv und in die elastischen Formen hineingepreßt, diesen vorübergehend bestimmte Gestalt verleihen können.

O. LEHMANN hat ferner gezeigt, daß den flüssigen Kristallen, gleichwie den festen, eine gewisse Kraft der Moleküle innewohnt, die er „Richtkraft" genannt hat, weil sie die Moleküle der Kristalle in ähnlicher Weise zu richten vermag, etwa wie ein Magnet die Eisenfeilspähne. Auch die Gestaltungskraft der flüssigen und fließenden Kristalle sieht LEHMANN als eine Folge der molekulären Richtkraft an und wenn wir auch über das Wesen dieser Kraft noch keinen richtigen Begriff haben, so ist doch die Vorstellung gewonnen, daß gewisse Moleküle und Bestandteile des Protoplasmas unter dem Drucke bestimmter Verhältnisse und aus sich selber heraus sich zu modifizieren vermögen. Aus den myelinen Körpern entstehen Muskelfasern und Flimmerorgane, wobei nach TH. W. ENGELMANN (Berliner Akad. 1906) „Doppelbrechung und Kontraktilität gleichzeitig auftreten. Bei der Abnahme der Kontraktion der Muskelfaser findet auch eine Abnahme des Doppelbrechungsvermögens statt." Aus der nukleogenen Substanz, also aus Molekülgruppen von anderer chemischer Zusammensetzung, entwickeln sich die Elemente des peripheren und zentralen Nervensystems, die maschinellen Organe der elektrischen Reizleitung und Reizaufspeicherung der Körperanlage; auch als solche ist die Muskelfaserbildung der myelogenen Substanz anzusehen: Sie ist eine Volta'sche Säule, deren Elemente sich durch die „Richtkraft" LEHMANNs geordnet haben.

Fragen wir danach, wo diese maschinellen Anlagen entstanden seien?, — so ist unsere Antwort: **Die Muskelanlagen entstehen da, wo das erforderliche Material** (Myelin und myelogene Substanz) **in genügender Menge zur Stelle und die äußern mechanischen (Reiz-)Einwirkungen quantitativ und qualitativ angepaßt vorhanden sind.** B.S. 36.

Nach LEHMANN wäre also hierzu eine besondere Kraft, die „Richtkraft", nötig, deren Wesen wir noch nicht genauer kennen. Aber wir dürfen diese neue Richtkraft LEHMANNs nicht zu einem Deus ex machina werden lassen. Es fragt sich daher, ob wir ihrer bedürfen, um die spontane Entstehung der Muskelanlage im Körper aus den flüssigen Kristallen der plasmatischen Substanz zu erklären, oder ob wir sie nicht durch eine andere, bereits bekannte Kraft ersetzen können. Eine äußere oder innere, längere Zeit und wiederholt in gleicher Weise einwirkende Kraft würde unter allen Umständen den Anlaß zu dieser spontanen Bildung geben müssen, oder doch eine Bewegung, eine Erschütterung der Masse, die auf den Einfluß einer solchen Kraft zurückzuführen wäre. In diesem letztern Falle hätten wir das Analogon hierzu im Auskristallisieren einer übersättigten Lösung durch Erschütterung vor uns, ferner im Auskristallisieren von Brückenbestandteilen usw.

Schon M. L. FRANKENHAIN (1851, Journ. f. Chem. 43) hatte den Satz aufgestellt: „Erhöhung der Temperatur hebt das abnorme Gefüge der Körper, auf welche Weise es

auch entstanden sein mag, auf . . .“ Und: „diese Art von Molekularbewegung wird auch durch die Erschütterung der Körper befördert.“

Nach VERWORN beruhen amöboide Bewegung, Muskel- und Flimmerbewegung auf abwechselnder Kontraktion und Expansion der lebenden Substanz durch gegenseitige Umlagerung ihrer Teilchen. Diese Umlagerung muß eine chemische sein, da die Muskelarbeit aus chemischer Energie entspringt. Sie erfolgt auf die mechanische Zufuhr neuer Energien mittelst Serum bzw. Blutes und durch Abgabe derselben an die Moleküle des gallertigen Plasmas. So scheint chemische Energie direkt in mechanische Arbeit umgewandelt und in Muskelsubstanz angesetzt zu werden durch Selbstdifferenzierung des Plasmas.

Wenn nämlich auf der einen Seite bloße Zufuhr von Energien (Bewegungsenergien) von außen her die Substanz des Hühnereis zum Leben erweckt und anderseits durch einfache Erschütterung eine gesättigte Lösung zum Auskristallisieren gebracht werden kann, so ergibt sich daraus, daß durch Erschütterungen, hervorgebracht in einer physikalisch wie chemisch hochpotenzierten Substanz, welche flüssige Kristallgebilde enthält, durch einfache Umlagerung der Moleküle Kristallisationsprozesse ausgeübt werden können. Und diese Prozesse müssen da am zahlreichsten sein, wo die molekularen Erschütterungen am häufigsten auftreten. Wird diese Molekularbewegung nun durch die „Richtkraft“ hervorgerufen?

Der „Kristallisationsprozeß der plasmatischen Substanz“, die Muskelbildung, besteht im Auftreten glatter oder quergestreifter Muskelfasern.

Diese Muskelbildung wird durch „Übung“ gesteigert und geht bei vollständiger Inaktivität des Organs allmählich wieder in Bindegewebe zurück. — Ich benutze diese Gelegenheit, darauf hinzuweisen, daß das Bindegewebe histologisch das einzige Gewebe ist, das bei sämtlichen morphologisch differenzierten Organen zu treffen ist. Man hat auch schon diese Bindegewebebildung bereits als Kristallisationsprozeß aufgefaßt. Diese Anschauung vermag ich nicht zu teilen, aber noch viel weniger die landläufige, entgegengesetzte Auffassung, wonach das Bindegewebe, dem Namen entsprechend nur eine Art Binde- oder Kittsubstanz zwischen den einzelnen Systemen des Körperbaues sein sollte.

Meine Anschauung geht dahin, daß das gesamte Bindegewebe des Körpers das eigentliche Grundgewebe für alle andern histologischen Grundformen darstellt. Aus ihm würden, auf die Einwirkung eines spez. Reizes hin, durch Differenzierung der hochwertigen und hochpotenzierten Zellsubstanz die verschiedensten Gewebe entstehen und im Falle Ausbleibens dieses spez. Reizes, d. h. bei Inaktivität, können diese Gewebe wieder in das Grundgewebe zurückgehen. Das zwischen den Segmenten der einzelnen Organe eingelagerte Bindegewebe, mit Einschluß des in seine Lücken ausgepreßten Serums und eingelagerten Fettes, wäre dann nicht nur als Binde- und Stützapparat, sondern weit mehr als Reservenmaterial für Aufbau, Funktion und Erhaltung der Form aufzufassen.

Diese vereinfachte Anschauung steht auch mit den täglichen Beobachtungen im vollsten Einklang und wird uns durch den histologischen Vergleich eines bindegewebsreichen, sukkulenten mit einem muskulös trockenen bindegewebsarmen Körper vor Augen geführt (Neugebornes und drainierter Erwachsener).

Schon oben sind wir bei der Entstehung der Skelettfrage und ihrer Form zu dem Schlusse gelangt, daß diese durch Selbstdifferenzierung des Plasmas erfolgen müsse und zwar infolge vermehrter, dynamischer Inanspruchnahme der plasmatischen Eisubstanz durch den internen Druck. Der Schluß, daß eine ähnliche Selbstdifferenzierung der nämlichen Substanz nach anderer Richtung hin, auch durch eine anders beschaffene Kraft erfolgen könne, liegt nun sehr nahe, sobald man nur über die hohe, chemische und physikalische Potenz dieser Substanz genügend unterrichtet ist.

Eine verschiedenartige Reaktion der tierischen Grundsubstanz auf die verschiedenartigsten chemischen und physikalischen Reize anzunehmen, ist um so leichter, als wir bereits genötigt waren, in der protoplasmatischen Substanz eine Trennung der Materie nach ihren Valenzen anzunehmen. Im bindegewebigen Zellenleib finden wir die nicht plastische Flüssigkeit, das Serum, zum größten Teil ausgepreßt. Sie wird zum Träger und Vermittler der chemischen Energie. Die plasmatische Zellsubstanz dagegen ist als Träger der physikalischen (maschinellen) Wertanlagen einzuschätzen, während die nukleogene, die Kernsubstanz, auch in der histologischen Anlage als Vermittler äußerer Reize auf die maschinellen Anlagen anzusprechen ist.

So hätten wir in jeder Bindegewebszelle schon einen hohen, betriebstechnischen Gedanken verkörpert, der von sich aus nicht nur alle zu Gebote stehenden Hilfsmittel (Nährmaterial des Serums) richtig zu verwenden, sondern auch alle Konstellationen der Hochkonjunktur (mechanische, thermische und elektrische Reize) geschickt auszunützen vermag. Und zwischen den qualitativ primitiven Eigenschaften und funktionellen Fähigkeiten der einzelligen Amöbe und denjenigen des technischen oder kommerziellen Leiters des größten Geschäftes fänden wir keinen prinzipiellen, sondern auch nur noch einen graduellen Unterschied.

Doch immer noch haben wir keine Antwort auf die Frage, auf welche äußern Einwirkungen hin der angenommene Kristallisationsprozeß der Muskelbildung erfolgen soll, wenn wir dieser Entstehung nicht ohne weiteres die Wirkung der neuen, hypothetischen „Richtkraft" zugrunde legen wollen. Wir kommen dabei auf unser physikalisches Experiment II—IV zurück. Haben wir dort nicht alle mechanischen Vorkommnisse des vegetativen Lebens ohne maschinelle Einrichtungen, nur durch Einwirkung äußerer mechanischer Kräfte (Füllen der Räume *B* und *C*, Fig. 47) nachgeahmt? — Dem Lebensprozeß, der nur eine graduelle Steigerung unseres Experimentes bedeutet — sollten ihm wirklich neue Kraftmittel, etwa die „Richtkraft" zu Gebote stehen? —

Die einzelnen Faktoren, von denen das Gelingen des Versuches abhängt, sind bereits erwähnt.

Es sind deren gegen ein Dutzend gewesen. Wir übergehen sie hier, wollen aber nochmals feststellen, unter welchen Umständen das physikalische Lebensexperiment nicht oder nur unvollkommen gelingt.*)

a) Das Experiment gelingt gar nicht:

1. Ohne das Eindringen von „Außenwelt" in die Rumpfhöhle;
2. Bei gänzlicher Rigidität, resp. bei fehlender Elastizität der Rumpfwand.
3. Bei starker Reibung der Darmhaustren unter sich und mit der Innenfläche der Rumpfwand.
4. Bei vollkommen gleichem spez. Gewicht aller Kontenta.

b) Es gelingt nur in unvollständiger Weise:

Wenn die Füllung und Leerung von *B* und *C* sich nicht rhythmisch, in gewissen Intervallen wiederholen.

In Verbindung mit dem früher Erwähnten geht daraus hervor, daß der Energetik der Kontenta, der innern Außenwelt des Individuums in Verbindung mit der Elastizität der Wandung eine weit größere Bedeutung für Formbildung und Funktion des tierischen Organismus beizumessen ist, als man bisher anzunehmen geneigt war. Auch im einzelligen Protoplasmaleib der Amöbe sinkt der schwerere Brocken nach unten, steigt

*) Wir können dabei der Einfachheit halber die Bezeichnung der durch das Experiment dargestellten morphologischen Systeme und Körperorgane einführen (*aa* = Darmhaustren, *B* = Blase, *A* = Bauchhöhle, *C* = Pleurahöhle.

die leichtere Luftblase nach oben und die Bewegung der Leibesmasse, die sich gegen dieses Naturgesetz zur Wehre setzt, ist nur der Spannungsausgleich zwischen der Schwerkraft, Elastizitäts- und Expansionskraft. Die Verschiebungen geschehen im Experiment durch Kontaktbewegung infolge von gegenseitiger Druckauswirkung. Die Elastizitätskraft der äußern Rumpfblase im Ausgleich mit ihrer innern Belastung entspricht dem organischen Festigkeitsmodul des Körpers, womit der Letztere nach stattgefundenem innern Ausgleich der äußern Welt gegenübertritt.

Dieser Satz entspricht sowohl den faktischen Verhältnissen beim physikalischen Experiment, wie auch demjenigen in der hochorganisierten, durch Knochen und Muskelanlagen verstärkten elastischen Rumpfblase des Menschen.

Die Bildung beider, *der Muskeln wie der Knochen, ist als eine maschinelle Anlage zu betrachten.*

Die Knochenformen bilden maschinelle Hebel, Schrauben, Ringe und schiefe Ebenen, die Muskelfibrillen, Volta'sche Säulen, um die passive elastische Widerstandskraft der Wandung zu erhöhen durch Steigerung ihrer passiven Elastizitätskraft zur aktiven, d. h. zur Kontraktilität. Beide, Knochen- wie Muskelanlagen (inkl. Nervensystem), müssen aus der tierischen Grundsubstanz erstehen können rein durch Arbeitsteilung ihrer Molekülgruppen und Selbstdifferenzierung dieser Gruppen durch äußere Einflüsse. Die Knochenanlage erfolgt in ähnlicher Weise als eine innere statische Versteifung durch vermehrten, äußern Druck, die Muskelanlage aber als Kristallisationsprozeß, offenbar durch vibrierende oder elastische Erschütterungen infolge des Energieaustausches der „innern und äußern Außenwelt" mit der Körpersubstanz des Individuums (siehe Zweiter Teil, B. II.).

Wenn O. LEHMANN den Fundamentalsatz aufstellt: „Die Festigkeit der festen Körper beruht auf der Kristallisation," so stellen wir ihm den Satz zur Seite: „Die Festigkeit des lebenden Organismus beruht auf seiner gesteigerten Elastizitätskraft (der geistigen, sowohl wie der physischen), die durch Kristallisationsanlage der kolloiden plasmatischen Substanz noch zum Kontraktionsvermögen gesteigert ist."

Nun dürfen wir auch den Fundamentalsatz HERM. MEYERs etwas modifizieren. — Wir sind zu Beginn dieser Studien der im Grunde gewiß richtigen Auffassung MEYERs gefolgt, wonach die Grundgestalt der Rumpfwandung (des tierischen und menschlichen Körpers) „der muskulöse Schlauch ist, in dessen Substanz die Knochen nur als modifizierende Einlagerung erscheinen."*)

Wir werden auch im weitern Verlauf der Untersuchungen dieser Grundanschauung treu bleiben. Nur können wir jetzt obigen Satz noch präziser fassen, indem wir mit H. STRASSER sagen:

„Zum Konstruktionsprinzip, resp. zu dessen Erklärung könnte man auch einen länglichen Ballon halbstarren Systems zum Vergleich heranziehen mit einer gegliederten, druckfesten, mehr oder weniger aufwärts gebogenen Kette (Druckbaum), während die untere oder Ventralseite der Stammwand als eine hängende Kette oder Längsgurte erscheint, in welcher starre und weiche Abschnitte aufeinanderfolgen."

Und, indem wir auch noch die Entstehungsweise der Form in die Erklärung einbeziehen, sagen wir:

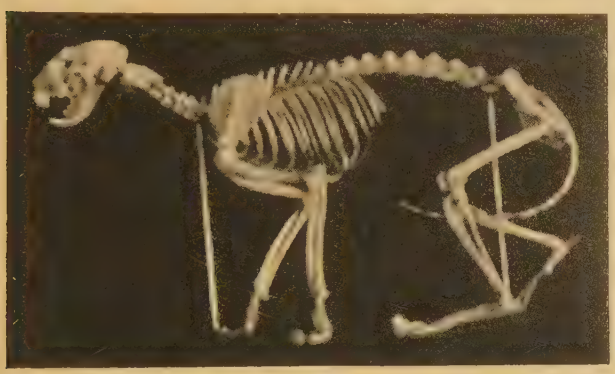
B.S.37. Die Grundform des tierischen und menschlichen Körpers (Rumpfes) ist die Spindel, deren elastische Wandsubstanz sich durch Selbstdifferenzierung

*) G. HERMANN MEYER, Einleitung zu: Statik u. Mechanik des menschlichen Knochengerüstes.

und nach dem *Prinzip der Arbeitsteilung* umgestaltet. **Diese Modifizierungen erfolgen als Reaktion auf innere und äußere mechanische Einwirkung zur Ausnutzung größeren Nutzeffektes durch die plasmatische Substanz** (Bindgewebe) **im Sinn größerer Stabilität** (Knochenanlage) **oder verstärkter aktiver Elastizität** (Kontraktilität der Muskelanlage).

f) Weitere Untersuchungen über das mechano-statische Prinzip der tierischen Rumpfform im allgemeinen.

Wir gehen wieder von der Theorie der Rumpfblase aus und wollen an dieser Stelle auch gleich einige Bemerkungen über die Lokomotion derselben einschalten.



Figur 47.
Skelett der Hauskatze.

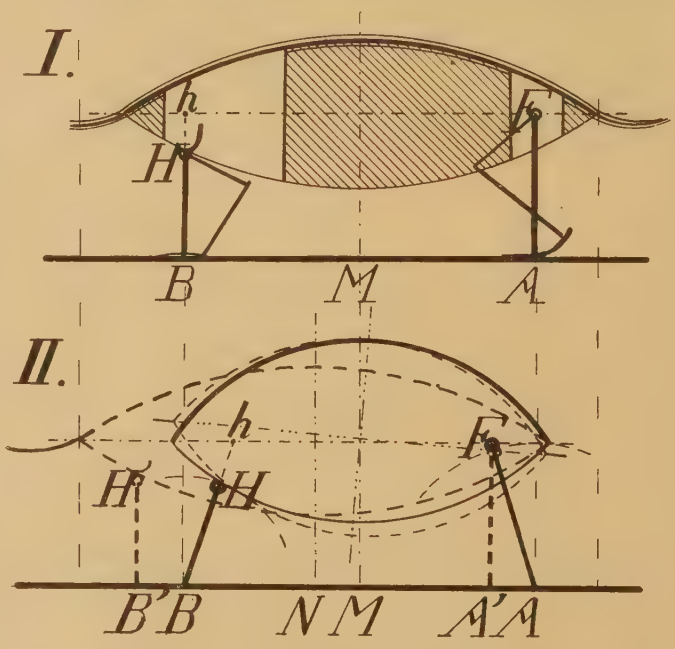
Lokomotion:

Die elastische Wand der Grundform des Stammes ist vorn und hinten je durch Einschalten eines knöchernen Ringes verstärkt: durch den Brustkorb und den Beckenring. Diese Segmentverstärkungen (H. STRASSER) finden wir sodann unter sich mittelst einer gegliederten, federnden und druckfesten Rückengurte verbunden, die selber noch durch eine Zugstrebe (Columna spinalis mit Sacro-spinal-System) in ihrer mechanischen Anlage verstärkt wird. Die Fortbewegungsorgane sind beim Quadrupeden paarweise an den Segmentringen befestigt, die vordern Extremitäten am Brustkorb, die hintern am Beckenring. Dabei ist jedoch wohl zu beachten, daß die Befestigungsweise beider Extremitätsorgane am verstärkten Rumpfsegment eine durchaus verschiedene ist: Sie ist nämlich viel fester und inniger zwischen den hintern Extremitäten und dem Beckenring, als dies zwischen den vordern Extremitäten und dem Brustring der Fall ist. Durch Vermittlung der Schlüsselbeine wird hier eine Gabel gebildet, in welche die Rumpfform zu liegen kommt und die zugleich die vordern Extremitäten trägt. In dieser Gabel wird der Rumpf, der namentlich beim Sprung, aber auch bei jedem Schritt des Quadrupeden noch vorn geworfen wird, aufgefangen und auf diese Weise der Stoß wesentlich gemildert. Dies ist in hohem Grade der Fall, wenn, wie beim Skelett der Hauskatze, Figur 47, die Richtung der Oberarmknochen von der Gelenkpfanne aus horizontal nach hinten geht, wodurch der Gang die höchst möglichste Elastizität erhält.

Wir haben Brustkorb und Beckenanlagen als verstärkte Wandsegmente angesprochen, und als solche wären sie mit den Segmentbildungen der Ringelwürmer und Arthropoden usw. zu vergleichen: Es besteht aber ein großer und wesentlicher Unterschied zwischen der äußern Versteifung der Segmente bei den Wirbeltieren. Die Chitinringe der Würmer werden bewegt durch innern Muskelzug und gegenseitiges Verstemmen der harten und in ihrer Gestalt möglichst unveränderlichen Zylinderformen. Diese besitzen unter sich keine feste Verbindung. Die Lokomotion erfolgt hier durch Gestaltveränderung und Kontaktbewegung. — Die beiden Segmentringe des

Quadrupeden aber hängen an dem festen Druckbaum, der Wirbelsäule, wie an einer Feder, deren größere oder geringere Spannung die gegenseitige Lage der Segmentringe zueinander verändert und damit auch die Lage und Stellung der beiden Extremitätenpaare unter sich. Da die Stellung der Fußpunkte dieser Extremitätenpaare für eine gegebene Bewegungsphase als an der Unterlage (Boden) festhaftend angesehen werden muß, so spielen sich die übrigen Momente des Bewegungsaktes beim Vierfüßler in der Stammform selber ab, und zwar durch Formveränderung. Bei der Bewegung der Ringelwürmer dagegen wird die Walzenform stets beibehalten und die Formbewegung (Lokomotion) geschieht hier durch Verstemmen einzelner Glieder gegen die Unterlage (Reibung, Adhäsion, Hebelwirkung) oder unter sich.

In gewissem Grade freilich ist dies auch beim Quadrupeden der Fall; aber es wird hier nur durch eine vermehrte Spannung der Rückgratfeder ermöglicht, wodurch eben die Formveränderung des Stammes hervorgerufen wird. Diese Formveränderung besteht nämlich in einer einfachen Verkürzung und Verdickung der Spindelform. Durch diese Annäherung an die Kugelform werden die beiden Querachsen der Extremitätenpaare, die Schulter und die Hüftachse, sich gegenseitig genähert und dadurch die Rückengurte stärker gespannt. Beim Aufhören dieser gezwungenen Stellung würde die Feder in ihre frühere Lage und Stellung zurückkehren, wenn ihr vorn und hinten je der gleiche Widerstand entgegengebracht würde. Infolge der ungleichmäßigen Befestigung der Extremitätenpaare am vordern und hintern Rumpfring ist das nicht der Fall. Die tiefere Lage *H* der Schulterachse am Brustring (Fig. 48) vermag nur geringen Widerstand in der Längsachse der Spindelform zu bieten.



Figur 48.

Die Lokomotion durch Formveränderung als Funktion der Kohäsion (Elastizität und innere Versteifung) und Adhäsion (Reibung am Boden). Spannung und Entspannung der einseitig fixierten Feder, Schleuderbewegung, wobei die gespannte Stammform von *F* aus auf *H'* geworfen wird.

Die Streckung der Rückgratfeder ist daher eine einseitige, nach „vorne" gerichtete (s. Fig. 48 II) und zur Aufrechterhaltung des statischen Gleichgewichts müssen nun auch die Beine der neuen Lage des Rumpfes folgen. *A* pendelt nach *A'*, *B* nach *B'*. *M* kommt nach *N*. Die Länge der Strecke *NM* ist gegeben („Schrittlänge"). Sie hängt in erster Linie von dem Elastizitätsvermögen des Rückenstabes ab. Je mehr sich die Spindelform der Kugelform zu nähern vermag, um so näher kommen *F* und *h* zusammen, um so stärker ist die Spannung der Feder, um so größer daher auch ihre Wurf- oder Schleuderkraft. Sie schleudert bei jedem Schritt die

Grundform von der hintern Extremität aus auf die Skelettgabel *H* der vordern Extremität, welche den Stoß aufnimmt und ihn mildert, je nach Scharnierstellung der einzelnen Skelettteile dieser Extremität.

Die Richtigkeit unserer Auffassung über die Art und Weise des ursprünglichen primären Vorganges bei der Lokomotion des Vierfüßlers mittelst einfacher Gestaltsveränderung des Rumpfes und konsekutiver Pendelbewegung der Extremitäten scheint mir auch aus der Dressur des Pferdes hervorzugehen. Unter den verschiedenen Gangarten dieses edelsten unserer Haustiere ist anerkannterweise das Galoppieren wohl die natürlichste und in der Wildheit auch die gebräuchlichste. Die Vorbereitung zum Galopp erfordert aber, wie jeder Reiter weiß, das Aufbieten der größten Spannkraft von Seite des Pferdes, ein „Zusammenstellen" von „Hinterhand und Vorderhand", ein vollständiges „Versammeln" des Tieres von Seite des Reiters. Die Galoppbewegung ist eine ausgesprochene „Wurfbewegung" von der „Hinterhand" auf die „Vorderhand". — Auch das Studium des „Gehen an Ort" beim Pferde ist lehrreich und interessant. Hierbei wird die Hinterhand vorwärts getrieben, während die Vorderhand zurückgenommen wird.

Da die Elastizität eines Körpers in einer gegenseitigen Verschiebung der Moleküle zu suchen ist, wobei die Kohäsionskraft dieser Moleküle noch nicht überwunden wird, wohl aber verschieden hohe Grade der Verschiebung vorkommen können, und da anderseits das Haften der Stammform am Boden infolge der Schwerkraft nur als eine spez. Art der Adhäsion aufzufassen ist, so kann diese Art der Lokomotion in letzter Instanz zurückgeführt werden auf die Korrelation zwischen Adhäsion und Kohäsionskraft der Körpersubstanz. Die Befestigungsweise der Fortbewegungsorgane spielte dabei am Versteifungsring nicht eine unwichtige, wenn auch nur konsekutive Rolle. Die Schrittlänge AA' (Fig. 48 II) gleich $BB' = MN$ ist nebst der Spannkraft des Rückgrates von dieser Befestigungsweise bzw. von der Lage des Punktes F auf oder über der Spindelachse und außerdem von der Länge AF abhängig. Sonach ist zu sagen: **Die Lokomotion ist die Resultante aus** B.S.38. **Kraft- und Versteifungsanlage (Knochen- und Muskelanlage) und äußerem Widerstand. Sie erfolgt beim Quadrupeden durch Formveränderung der Stammwand und Schleuderbewegung von den hintern Gliedmaßen aus. Die konsekutive Beinstellung ist als sekundärer Akt anzusehen und nur als eine statische Folge jener primären Kraftanlage der Stammwand (Pendelbewegung).**
(Fortsetzung siehe Zweiter Teil, B. II. 8e, Statik und Lokomotion.)

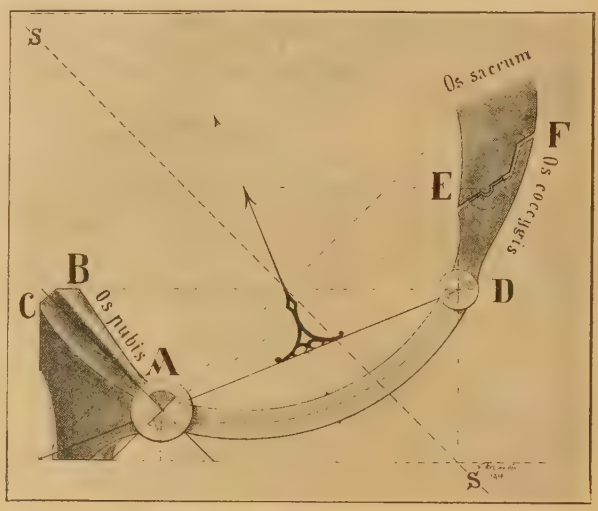
Die Anwendung der schiefen Ebene als Konstruktionsprinzip.

Unter den „einfachen Maschinen", diesen Kraftanlagen des Körperbaues, haben wir auch „die schiefe Ebene" aufgezählt.

Man wird vielleicht von den bisherigen, unvollständigen und unrichtigen Anschauungen ausgehend diese Kategorie von Maschinen kurz von der Hand weisen mit dem Bemerken, daß der Körper — wir fassen hier nun speziell wieder den menschlichen Körper ins Auge — seine Lage ja beständig wechsle. Damit verändert sich selbstverständlich beständig auch der Wertmesser dieser Maschine, der Neigungswinkel der Ebene zur Horizontalen. Zudem sei der Nachweis, daß die Körperanlage wirklich größere, ebene Flächen besitze, die mechanistisch als Rutschbahn für fallende Gewichte könnten in Frage gezogen werden, überhaupt nicht zu erbringen.

Beide Einwände scheinen mir nach allem, was wir über die Körperform und ihr Entstehen erfahren haben, nicht stichhaltig zu sein.

Daß der menschliche Stamm sowohl seine Lage wie Gestalt funktionell vielfach ändert, ist gewiß richtig. Aber ebenso richtig ist auch der Gedanke, daß man unter den anthropologischen Begriff „Mensch“ in erster Linie die aufrechtstehende Rumpfform subsummiert, welche die anthropomorphen Eigenschaften: Form und Stellung erst im Verlauf der spätern Entwicklung des Individuums erhalten hat, diese dann aber im Großen und Ganzen unverändert zeitlebens beibehält.



Figur 49.
Mechanik des männl. Beckenbodens als einfache elastische Feder dargestellt, Hängepunkte *A* und *D* teilweise drehbar.

Daß der mechanistische Begriff der schiefen Ebene im Aufbaue des organischen Körpers wirklich zur Anwendung gelangt, und in welcher modifizierten Weise dies geschieht, darüber soll uns das folgende einfache physikalische Experiment belehren. Es ist ihm wieder die Anschauung der elastischen Rumpfblase zugrunde gelegt, in deren Wandung der versteifte Beckenring eingelagert ist. Die Einheit des Rumpfblasenvolumens bleibt auf diese Weise erhalten, die elastische Wand der Bauchhöhle jedoch erscheint dadurch mechanistisch bereits in zwei Teile zerlegt, die oben und unten am festen Ring ihren Ansatz und ihre Stütze finden. Im Experiment darf der Ring zunächst füglich als völlig unelastisch gedacht werden, während ihm am Körper als Teilstück der elastischen Rumpfwand immer noch eine gewisse Elastizität zukommt und eine nur relative Festigkeit. Die beiden elastischen Wandstücke aber, die durch Einfügen des Ringes entstehen — Beckenboden und Bauchdecke —, werden nun funktionell voneinander teilweise unabhängig, obgleich sie immer noch unter gemeinsamem Innendrucke stehen.

Unter der Voraussetzung, daß das Dehnungsvermögen der Rumpfblase bei gleichmäßig über sie verteilter innerer Last überall eine gleichmäßige sei, unter dieser Voraussetzung gestaltet sich die Dehnung eines Wandabschnittes um so größer, je größer die Länge dieses elastischen Abschnittes ist.

Bei der Symmetrie der Belastung ist, da der Auflagerdruck an beiden Endpunkten des Stabes der gleiche ist, das biegende Moment in der Mitte des Stabes am größten. Wir haben also im Prinzip eine einfache Federbrücke mit teilweise drehbaren Auflagern vor uns, wobei wir uns die Widerlager an den Endpunkten *A* und *D* des federnden Stabes zunächst als immobil denken wollen.

Nach diesen Begriffserörterungen, die bereits das mechanische Prinzip des elastischen Beckenbodens beim Manne erklären, gehen wir zu unserem Experiment über.

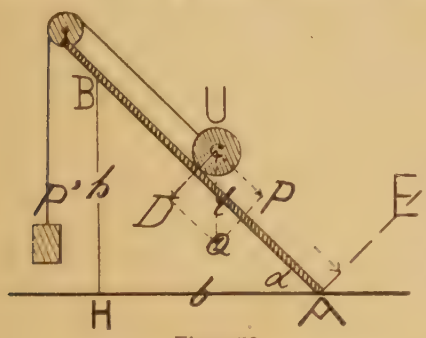
Physikalische Experimente.

Exp. V. *Experiment V.*

Fallgesetz der schiefen Ebene. Die auf der schiefen Ebene *AB* gleitende Kugel *S* vom Gewichte *Q* drückt mit einem Teil *D* ihres Gewichtes, das im Zentrum (Schwerpunkt *S*) der Kugel angreift, senkrecht gegen ihre Unterlage *AB* und wird durch den

Widerstand dieser Ebene aufgehoben. Die andere Komponente P des Schwergewichtes der Kugel strebt parallel dieser Ebene nach abwärts und kann durch eine, nach aufwärts wirkende, gleichgroße Kraft P' im Gleichgewicht gehalten werden. Je größer der Neigungswinkel (α) der schiefen Ebene AB zur Horizontalen wird, um so größer wird die Kraft P', die notwendig ist, um das Gleichgewicht der Kugel herzustellen, denn es ist:

$$P' = Q \sin \alpha,$$
$$D = Q \cos \alpha.$$



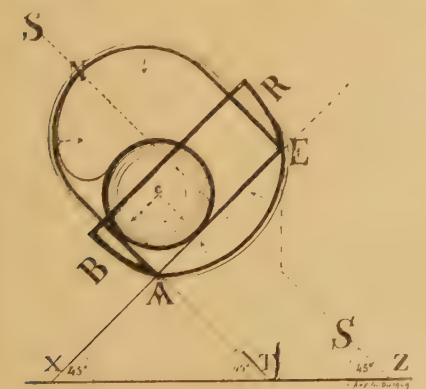
Figur 50.

Das Fallgesetz der schiefen Ebene.

Stellen wir am Endpunkt A der schiefen Ebene oder an jedem andern beliebigen Punkte derselben die flache Hand der fallenden Kugel so entgegen, daß die Handfläche AE senkrecht zur Fallebene AB steht, so drückt die ganze Kugellast Q diese Hand mit der Teillast P. Darauf basiert das weitere Experiment, dem wir nun wieder die Vorstellung von der elastischen Blase mit dem Beckenring zugrunde legen.

Experiment VI. **Exp. VI.**

Vorraussetzung: Ein Ballon (Figur 51 stellt die Symmetrieebene dieser Blase dar) von langgezogener Form mit elastischer Wandung ist in einem festen Ring BR derart eingeschlossen, daß die Längsachse SS der Ballonform auch die Achse des Ringzylinders BR bildet: Diese Achse SS steht zur Horizontalen XZ unter einem bestimmten Neigungswinkel ($x = 45$). Im Innern des Ballons befindet sich sodann mit dem Zentrum C eine Kugel (inkompressibel und vom Gewichte Q).



Figur 51.

Der Fall der Blasenkugel in der halbaufgerichteten Rumpfhöhle (Schematisch). Seelenachse SS steht unter dem Neigungswinkel von 45°. BR Beckenring, AE = elast. Beckenboden. c Blasenzentrum in N aufgehängt.

Sie ist im Polende N der Blase mittelst einer dehnbaren Schnur befestigt, im übrigen aber im Blasenraum frei beweglich. Der Innendruck dieses Raumes kann beliebig verändert werden.

Lassen wir die Kugel vom Punkte N aus langsam fallen, so gleitet sie auf der schiefen Ebene, welche durch die Ballonwand gebildet wird, nach unten und gelangt, indem das Aufhängeband gedehnt wird, in den Beckenring BR hinein. Dabei ist der Druck auf die Unterlage $AB = D$ (Fig. 50). Nach Experiment V ist

$$D = Q \cdot \cos \alpha.$$

Ist nun nach der Annahme (Fig. 51)

$$\alpha = 45^\circ, \text{ so ist } D = Q \cdot \cos 45^\circ = Q \cdot \sin 45^\circ.$$

Da ferner $AE \perp AB$ (nach Voraussetzung), so ist der $\angle$-Winkel bei X im Dreieck XTA, wenn wir EA und BA bis zur Dreieckbasis (Horizontalen XT) verlängern, ebenfalls

$$X = 180^\circ - (90^\circ + 45^\circ) = 45^\circ = \alpha,$$

d. h. im speziellen Fall ist der Neigungswinkel EAX gleich dem Neigungswinkel α von AB. Nach Experiment V aber drückt auf die Ebene AE die Last P. Sie wird durch Zug P' am

elastischen Bande N kompensiert, gegebenenfalls, wo die Neigungswinkel der beiden Fallebenen AE und AB gleich sind, ist auch

$$P = D, \text{ oder } Q \cdot \sin \alpha = Q \cdot \cos \alpha,$$

oder verallgemeinert:

Eine Kugel befindet sich im statischen Gleichgewicht, wenn sie auf zwei Ebenen aufruht, die gleiche Neigungswinkel haben.

Während nun aber in Fig. 51 unseres Experimentes die Linie AB die Projektion einer wirklichen materiellen, schiefen Ebene darstellt, repräsentiert die Linie AE eine ideelle Ebene, welche den untern Rand des BR-Ringes bildet (Projektion der untern Ringebene). An diesem Rand ist das untere Stück der elastischen Ballonwand befestigt, das wir uns als Kugelsegment zu denken haben. Mechanistisch tritt auf dem Medianschnitt die Gerade AE für den Bogen AE auf, indem durch die Elastizität des eingespannten Bogens AE die fallende Kugel auf die Sehne AE zurückgeworfen wird, wo sie ins statische Gleichgewicht kommt, gehalten von der elastischen Schnur N und aufruhend auf den beiden schiefen Ebenen AB und AE.

Daß wir für die fallende Kugel dieses Experimentes beim menschlichen Organismus das Analogon in der Urinblase zu suchen haben, ist nicht mehr schwer herauszufinden.

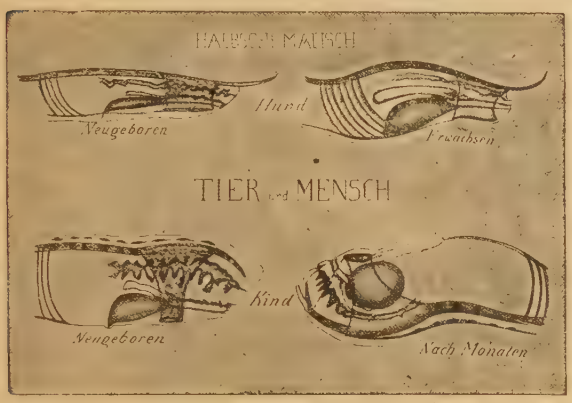
Diese Urinblase stellt in ihrem gefüllten Zustande morphologisch ebenfalls einen Ballon dar, dessen dehnbar elastische Mucosa durch Auflagerung von Muskelfasern funktionell verstärkt erscheint. Durch Bindegewebe ist die Blasenkugel auf ihren Unterlagen, der Symphysenebene, und mit dem Rektum verbunden. Der obere Teil der Ballonwand ragt, nur vom nachgiebigen Peritoneum überdeckt, in die Bauchhöhle hinein. Dem elastischen Zügelbande entspricht das Lig. vesicae medium, der obliterierte Teil des Urachus. An diesem Bande aufgehängt und auf zwei Ebenen aufruhend befindet sich die Blasenkugel im labilen, wie im stabilen Gleichgewichtszustande.

Nun hat man aber bei der Urinblase mit verschiedenen Füllungsgraden derselben zu rechnen. Solange eine Flüssigkeitsmenge, in einem elastischen Ballon eingeschlossen, unter gleichmäßigem Druck steht, nimmt sie Kugelform an, wie ja auch kleinern Flüssigkeitsmengen die Tropfenform zukommt, solange die Kohäsionskraft die Schwerkraft überwiegt. Die Kugelform kommt in der Tat auch innerhalb einer gewissen, physiologischen Breite des Füllungsgrades der Urinblase zu. Unterhalb der untersten Grenze derselben (U_1) nimmt sie durch Einfallen des freibeweglichen, obern Wandteiles meist Teller- oder Mützenform an. Oberhalb der obern Grenze (U_2) tritt die Blase infolge ungleichmäßigen Widerstandes inner- und außerhalb des Beckenringes aus der Kugelform heraus; sie geht in die Eiform über. Dem Blaseninhalt selber aber kommt als Flüssigkeit sozusagen gar kein Plastizitätsvermögen zu. Auch ist sie so gut wie inkompressibel (s. Zweiter Teil, B. III. 6a, b).

Auf einen bereits erwähnten Punkt muß hier noch einmal zurückgegangen werden: auf die Verschiedenheit in Form und Lagerung der Harnblase beim Vierfüßler und beim Menschen. Diese Verschiedenheit ist, wie wir gesehen, viel weniger scharf ausgesprochen, wenn man die Verhältnisse vergleichsweise zwischen einem Quadrupeden und der Jugendform des Menschen betrachtet, als wenn man dazu die Verhältnisse bei einem ausgewachsenen Menschen zum Vergleich heranzieht.

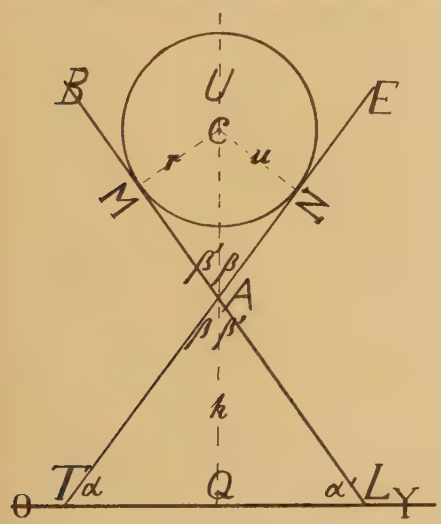
Interessant und überzeugend für unsere Anschauung über den kausalen Zusammenhang zwischen Funktion und Form ist die Tatsache, daß beim Quadrupeden zeitlebens, beim Menschen nur so lange, als der Aufrichtungsakt der Rumpf-

form nicht dauernd stabil vollzogen ist, die Urinblase noch zum großen Teil oberhalb des Beckenringes liegt. Auch kann meines Wissens keine Tierart eine so vollkommene Kugelform der Harnblase aufweisen wie der Mensch.



Figur 52.
Die topographischen Verhältnisse der Blase beim Vierfüßler und beim Menschen.

Und doch kommen alle Urinblasen auf dieselbe Weise zustande: durch partielle Füllung und Wiederentleerung eines langgestreckten Urachusschlauches. In welchem Teile dieses Schlauches die Ansammlung des flüssigen Inhaltes stattfindet, ob im vordern, tiefergelagerten beim Tiere oder im hintern untern beim aufrechtgehenden Menschen, das ist eine reine Frage der Energetik, der Lageenergie des leicht beweglichen tropfbarflüssigen Blaseninhaltes. Derjenige Teil des langgestreckten Urachusschlauches, dessen Lumen dabei nicht regelmäßig in Anspruch genommen wird, obliteriert entweder zum Lig. vesicae medium oder zur langgezogenen Urethra. Der auf diese Weise durch die Gesamtanlage der Körperform (s. Fig. 52) zum Urinreservoir bestimmte Teil des Urachus verstärkt sich funktionell durch kräftige Muskelanlage, wobei sich freilich, wie dies beim Menschen nachweisbar ist, der ganze Blasenapparat infolge veränderter Stellung des Individuums später topographisch noch verschiebt. Und die Folgen dieser Verschiebung? Sie sind weit größer, als man bisher anzunehmen geneigt war.



Figur 53.
Die statische Gleichgewichtslage der Kugel U auf den beiden gleichgeneigten Ebenen EAT und BAL.

Experiment VII. **Exp. VII.**

Lehrsätze: 1. Eine Kugel, die auf zwei Ebenen ruht, hat ihren Mittelpunkt stets in der Halbierungsebene des Spreizwinkels dieser Ebenen.

2. Die Kugel ist im statischen Gleichgewicht, wenn ihre Schwergewichtslinie in die Halbierungsebene des Spreizwinkels fällt.

Annahme: Es bedeute (Fig. 53) der Kreis U mit Zentrum C die Projektion einer Kugel vom Radius $r = u$. Der Kreis tangiert die beiden Ebenen AE und AB in N und M. $CQ = z =$ Vertikalachse, $OY = y =$ Horizontalachse. Es ist zu beweisen:

1. $\angle\beta = \angle\beta'$. 2. $TA = LA$; $QT = QL$; $\angle\alpha = \angle\alpha'$.

Beweis 1. Von einem Punkte A, der außerhalb eines Kreises liegt, können stets zwei, jedoch nur zwei Tangenten an den Kreis gezogen werden. Diese beiden Tangenten sind gleich lang; also $AM = AN$. Verbindet man A mit dem Kreiszentrum C und ebenso C mit N und M, so ist $r = u$; da $AC - b$ den Dreiecken ACM und ACN gemeinschaftlich ist, so sind diese $\triangle\cong$. Es ist somit $\beta = \beta'$.

Beweis 2. Die Schwergewichtslinie CQ, die durch das Zentrum der Kugel geht, steht aber als solche unter allen Umständen lotrecht und senkrecht zur Horizontalen. Also $CQ \perp OY$ (die Winkel bei Q sind 90°). Wir verlängern BA und EA, bis sie die Horizontale OY in T und L schneiden und verbinden den Fußpunkt Q der Schwergewichtslinie CQ mit A. Dann fällt diese Linie QA mit der Verlängerungslinie von CA zusammen; denn es ist $\beta + \beta' = \beta' + \beta$ als Scheitelwinkel. Und da die Winkel bei $Q = 90°$ sind (Annahme), so ist

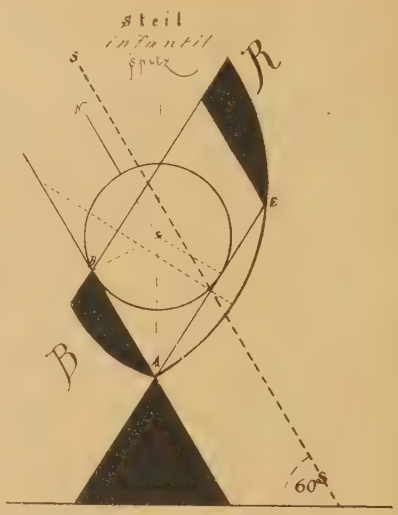
$$\triangle TQA = \triangle LQA, \qquad \text{somit auch}$$
$$TA = LA, \quad QT = QL \text{ und } \angle\alpha = \angle\alpha'.$$

Ich habe dem Dreieck TLA, das durch die Verlängerung zweier Neigungsebenen und durch die Horizontalebene gebildet wird, den Namen Basisdreieck gegeben und formuliere den obigen Beweissatz also:

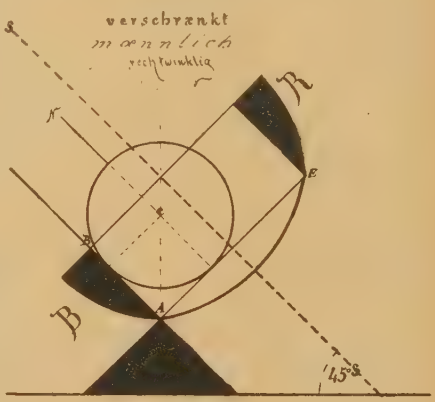
Eine Kugel, die auf zwei Ebenen ruht, ist im statischen Gleichgewicht, wenn ihr Zentrum über der Spitze eines gleichschenkligen Basisdreieckes liegt. Oder auch: wenn ihr Schwerpunkt von der Spitze eines gleichschenkligen Basisdreieckes unterstützt wird, sobald nur die Basis dieses Dreieckes in der Horizontalen liegt.

Dieser Satz erlangt besondere Bedeutung für die Kenntnis der Beckenkonstruktion. Wir wollen daher des bessern Verständnisses halber hier gleich die drei möglichen Beckentypen im Bilde schematisch nebeneinander halten (Fig. 54, 55 u. 56).

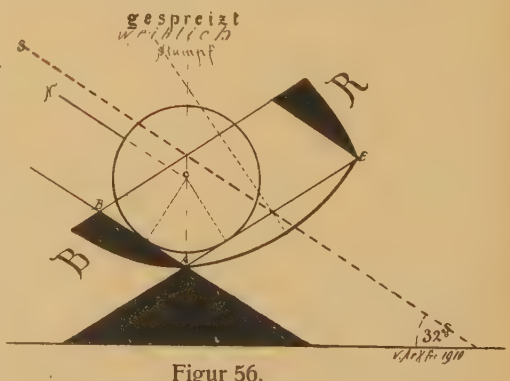
Was die Größe des Spreizwinkels anbetrifft, den die beiden schiefen Ebenen zueinander bilden, so sind drei Möglichkeiten gegeben: eine spitz-, eine recht- und eine stumpfwinklige Form, und diesen drei Kategorien entspricht auch die Form des zugehörenden Basisdreieckes, 1. die steile, „spitzwinklige", 2. die „rechtwinklig verschränkte" und 3. die „gespreizte, stumpfwinklige" Form. In der steilen Form befindet sich das Kugelzentrum am weitesten von der Spitze des Basisdreieckes entfernt. Die rechtwinklige Form hält die Mitte; ihr kommt der Vorteil größter Widerstandsfähigkeit zu, während dem gespreizten Basisdreieck ein anderer Gewinn erwächst in der größern Stabilität, die ihm die breitere Unterlage verschafft. — Der Übergang von einem Typus zum andern



Figur 54.
Der steile Typus des infantilen Beckens.



Figur 55.
Der rechtwinklig verschränkte Typus des männlichen Beckens.

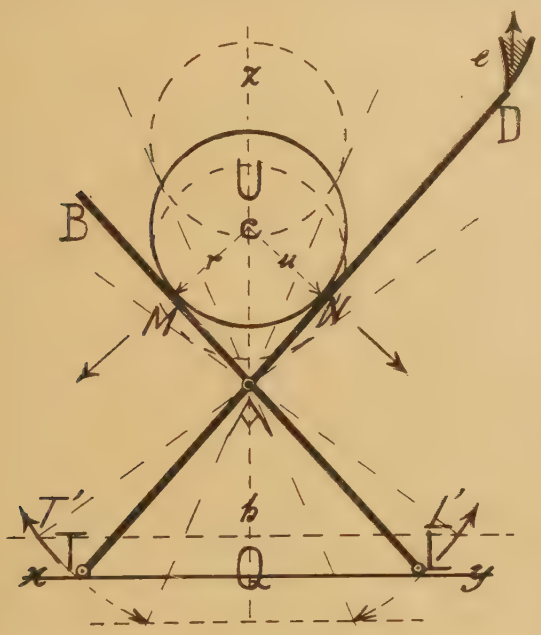


Figur 56.
Der gespreizte Typus des weiblichen Beckens.

ist leicht zu finden, sobald man sich vorstellt, daß die schiefen Ebenen gegenseitig verstellbar sind. Zu dieser Annahme sind wir übrigens schon oben gezwungen worden, indem wir den Beckenbodenmechanismus als eine einfache Federbrücke mit teilweise drehbaren Auflagern hinstellten.

Experiment VIII (wie Experiment VII). **Exp.VIII.**

Wir ersetzen in Figur 53 die beiden mathematischen Linien *TAE* und *LAB*, welche die Spur unendlicher Ebenen darstellten, durch reelle Stäbe, die im Schnittpunkte *A* durch Scharniervorrichtung beweglich miteinander verbunden sind. Auch die Fußpunkte *T* und *L* auf der horizontalen Tischebene sind mit Rollen versehen, die eine leichte Verschiebung auf der Tischplatte ermöglichen. Die Stäbe sind nun nicht mehr unendlich lang, sie sind materielle Hebelarme von bestimmter Länge geworden.



Figur 57.
Das System der gelenkig verbundenen zweiarmigen virtuellen Hebelarme.

Der eine dieser einarmigen Hebelarme *AD* sei zudem im Endpunkte *D* durch einen Zug nach oben festgehalten, während die Kraft *u* im Tangierungspunkt *N* der Kugel *U* angreift und der Scharnierpunkt *A* zum Drehpunkt wird. (System der doppelten, schiefen Ebene). Die beiden Kräfte *r* und *u* setzen sich an ihren Hebelarmen *AD* und *AN* in Korrelation. Ergibt sich ein Plus zugunsten des Kraftmomentes *u*, so würde der einarmige Hebelarm *AD* um seinen Drehpunkt *A* nach abwärts bewegt, das heißt, der Stab *TAD* würde in *A* gebrochen. Nun tritt aber dieser ganze Stab *TAD* wieder als fester, zweiarmiger Hebel auf, wieder mit dem Drehpunkte in *A*. Bewegt sich der längere Hebelarm *AD* nach unten, so geht der andere Hebelarm *AT* nach oben. Dadurch wird die Höhe *h* des Basisdreieckes *TLA* vermindert und die Fußpunkte *T* und *L* voneinander entfernt. Sie gelangen nach *T'* und *L'*. Aus diesem im Grunde höchst einfachen Experiment ist ersichtlich, wie viele Faktoren schon hier in Frage kommen; Gewicht und Radius der Kugel *U*, die Längenmaße von *AN* und *AD*, *AD* und *AT* usw.

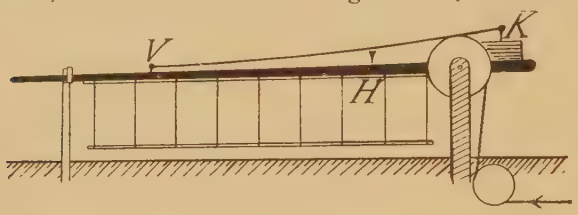
Bei dem in *B* nicht belasteten Hebelarm *LAB* tritt nur die Funktion des zweiarmigen Hebels in Kraft.

Ich verzichte darauf des nähern auf mathematische Berechnungen einzugehen. Es mag genügen, die physikalischen Grundbegriffe hier theoretisch erläutert zu haben, auf denen die Beckenkonstruktion und speziell die Mechanik des Beckenbodens sich aufbaut. Es ist oben anläßlich des Versuches, sämtliche anthropomorphen Erscheinungen auf eine einzige Grundursache zurückzuführen, auch des Zusammenhanges von Ontogenese und Phylogenese in dieser Frage gedacht und im Kapitel über den Lendenknick der Beweis erbracht worden, daß die menschliche Wirbelsäule vor dem Beckenring einen Bruch erhält,

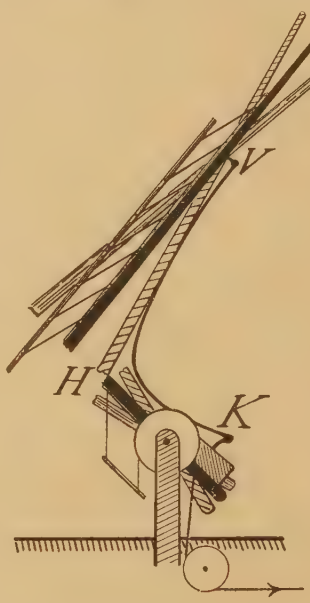
infolge besonderer Verumständungen, die in den eigenen Druckverhältnissen des menschlichen Eies zu suchen sind (siehe Konstruktion des Lendenknicks). Und diesem Umstande gerade haben wir große Bedeutung beizumessen. Den Beweis für diese Behauptung sind wir indes immer noch schuldig geblieben. Wir suchen auch hierfür den Beweis physikalisch zu erbringen.

Exp. IX. *Experiment IX.*

Voraussetzung: Ein Schlagbaum von bekannter Konstruktion mit Zugstrebe *VK* und Hängewerk hat wenig vor seinem Drehpunkte eine Bruchstelle (*H*). Solange der Schlagbaum hinunter gelassen und in seiner Gabel ruhend im Gleichgewicht ist, solange ist der Bruch ohne Bedeutung. Die gebrochene Schlagbaumstange findet in der ganzen Konstruktionsanlage, vor allem auch in der Zugstrebe *VK* und im Hängewerk genügend Halt. Beginnt man den Schlagbaum aufzuziehen (s. Fig. 58 und 59), und hat die gebrochene Stange keine genügende, innere Festigkeit mehr, so folgt der vordere Teil der geknickten Stange dem in *V* angreifenden Zuge. Der Bruch an der Knickstelle *H* wird vollständig. Beide Bruchstücke kommen ins Schwanken und gelangen nach und nach durch Ausbalancieren ins statische Gleichgewicht, nachdem sich die Zugstrebe *KV* durchgebogen hat; das obere Stangenfragment hängt dann frei an der ganz gebliebenen, aber gekrümmten Zugstrebe *KV*.



Figur 58.



Figur 59.

Der Schlagbaummechanismus mit ungebrochenem und gebrochenem Druckbaum. *KV* = Zugstrebe; *H* = Bruchanlage (Stelle des Lendenknicks beim Menschen).

In ähnlicher Weise vollzieht sich der mechanische Vorgang im eigentlichen Werdeakt der Anthropogenese beim Aufrichten der Wirbelsäule. Als Conditio sine qua non hierfür betrachten wir das Vorhandensein einer Bruchstelle im Rückenstab der Stammform („Lendenknick") und weiterhin das Vorhandensein einer zugfesten und druckstarken Zugstrebe (*KV*). Beide Faktoren sind im Kapitel „Lendenknick" genauer gewürdigt worden, und so dürfen wir nun, nachdem wir uns einige einschlägige physikalische und mechanische Gesetze ins Gedächtnis zurückgerufen, wieder zur Beckenanalyse zurückkehren und den Versuch wagen, das mathematische System, das uns bei der Projektion auf Γ_1 überrascht hat, physikalischen Gesetzen unterzuordnen und mechanistisch zu deuten.

3. Das Konstruktionsprinzip der männlichen Beckenform auf der Medianebene Γ_1.

Die Kenntnis eines mathematischen Systems, das dem Aufbau der Beckenform zugrunde liegt, wie es uns die Projektion des männlichen Beckentypus auf seine Medianebene in so

frappanter Weise gezeigt hat, befähigt uns, die zeichnerische Darstellung und Konstruktion dieser Form leichter und sicherer, als dies bis anhin der Fall war, durchzuführen. Kommen ja doch nach *B.S. 2 und 3* die Projektionspunkte der meisten von uns genommenen Beckenfixpunkte auf Γ_1 in die Peripherie eines Kreises zu liegen, und die wenigen übriggebliebenen sind von uns oben anderweitig so in das mathematische System eingereiht worden, daß die konstruktionelle Darstellung der Form auf Γ_1 keinen Schwierigkeiten mehr begegnete. Auch konnten sodann im weitern Verlaufe der geometrischen Berechnung die Projektionspunkte als Funktionäre zweier Kreise bezeichnet werden, die in einem bestimmten Größenverhältnis zueinander stehen.

Der eine dieser Kreise, in dessen Zentrum der Projektionspunkt der Hüftachse (P) zu liegen kommt, funktioniert ausgesprochen tesseral (B.S. 2) und ist mit seinen Funktionären dem Koordinatensystem angepaßt, das wir im Sinne der Schwerkraftsrichtung orientiert haben.

Der andere Kreis funktioniert ausgesprochen hexagonal (B.S. 3), jedoch so, daß auch seine Funktionäre sich an die Richtung der Vertikale halten. Was aber die Provenienz dieser beiden ideellen Kreise sei, ließ sich solange nicht näher würdigen, als wir unsere Projektionspunkte nur als mathematische Größen taxierten, und uns damit begnügten, sie unter sich auf Γ_1 mathematisch zu ordnen.

Um weitere Einsicht in die Struktur der Form zu gewinnen, hatten wir uns genötigt gesehen, diese Form in ihrer genetischen Entwicklung zu verfolgen, wobei wir auf die besondern Druckverhältnisse aufmerksam wurden, welchen die menschliche Jugendform schon im Fruchthalter ausgesetzt ist.

Das führte weiterhin zu Untersuchungen über die relative Widerstandskraft der ganzen Form und ihrer Teile, über die gegenseitigen Wirkungen einschließender und eingeschlossener Systeme, über Druck und Widerstand hoch elastischer und relativ fester, organischer Körper, wie wir dies im vorigen Kapitel skizziert haben an Hand physikalischer und technischer Experimente. Wenn wir jetzt wieder zum Projektionsbild der Γ_1-Ebene zurückkehren, so geschieht es unter Rücksichtnahme darauf, daß die daselbst zur Darstellung gebrachten Punkte, Linien, Winkel und Kreisbogen in Wirklichkeit einem Körper angehören, der in seinem Gefüge nicht homogen ist, sondern aus weicher-nachgiebigen und festern-stabilern Gewebselementen und Systemen besteht. Die Projektion auf Γ_1 (Tafel I) bringt nur die genauen Proportionen dieser Systeme zur Anschauung. Dieses Ergebnis muß sodann durch die bildliche Darstellung, die man durch Projektion auf andern Raumebenen gewinnt, systematisch ergänzt werden. Wir haben dabei den Vorteil, das Beckenorgan nicht zerstückelt zu haben.

Mit einer solchen Darstellung aber hat man viel gewonnen, sobald man sich unter den Punkten, Linien und Winkeln nicht mehr bloße mathematische Größen vorstellt, sondern unter Würdigung ihrer genetischen Entstehung und Herkunft auch Rücksicht nimmt auf ihre mechanische Bedeutung in der Körperfunktion. Es wäre dabei also nicht nur Rücksicht zu nehmen auf die anatomisch-morphologische Form, sondern ebenso sehr auch auf die mechanisch-funktionelle Stellung, welche einer bestimmten Anzahl von Fixpunkten unter sich auf der Projektionsebene zukommt.

Das scheint auf den ersten Blick etwas schwierig zu sein. Dem ist nicht so, sobald wir uns nicht in anatomische Details verlieren, sondern bei einem gegebenen morphologischen System wieder mehr Form und Funktion desselben als Ganzes betrachten.

Auf das knöcherne Becken angewandt würde diese Vorschrift etwa lauten: Das Becken bildet im wesentlichen eine ringförmige Versteifung der Stammwand (H. STRASSER); in diese ist mit drehbarer Befestigung das hintere Extremitätenpaar eingelassen, das beim

Menschen als einziges Fortbewegungsorgan des Körpers in Betracht fällt. Als wesentliche Eigenschaften des Beckens kommen also in Frage: die Ringkonstruktion und die Anordnung der Drehachse des Rumpfes in derselben (die Quer- oder Hüftachse), die sich in der seitlichen Projektion als Punkt P darstellt. (Tafel I.)

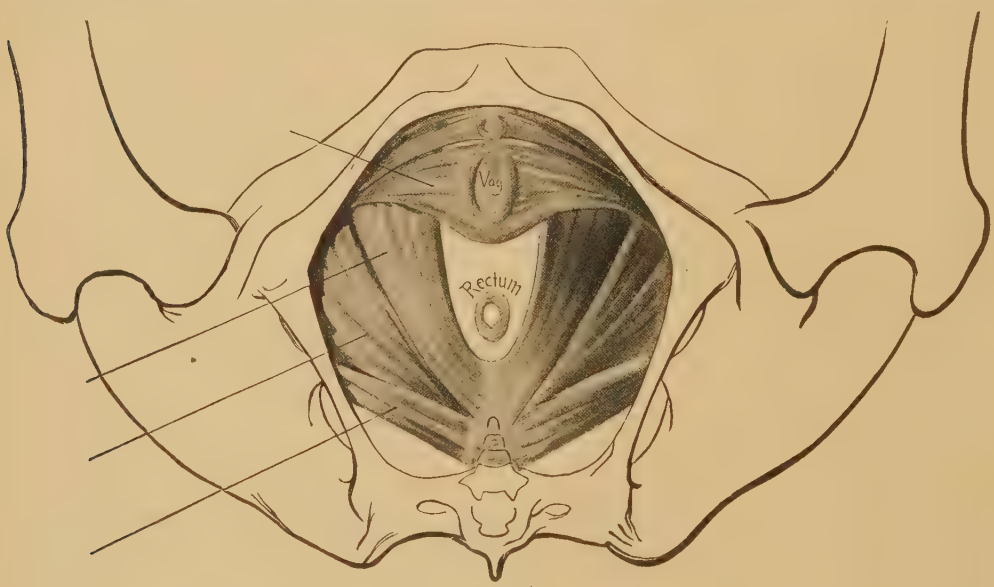
Fernerhin haben wir zwei weitere Achsen kennen gelernt, die senkrecht zur Drehachse stehen und von gleicher Länge sind wie diese (nämlich GZ und OK).

Es sind freilich nur mathematische, also ideelle, abstrakte Größen, die sich zunächst an der knöchernen Beckenform nicht ohne mathematische Hilfsmittel bestimmen lassen (Tafel II).

Das Auffinden dieses rechtwinklichen Achsensystems im menschlichen Becken ist für das Verständnis der Form und ihrer Wiedergabe aber von größter Bedeutung. Es sind durchaus neue Begriffe, die sich uns hier auftun. Sie erheischen daher auch neue Bezeichnungen.

Den alten Namen „Hüftachse", den einzigen, der beibehalten werden könnte, würde ich am liebsten mit dem Namen „Querachse oder Balancierachse" vertauschen. Die Richtungsachse des Beckenzylinders GZ erhält als Teilstück der Längsachse der Spindelform die Bezeichnung „Seelenachse" S—S, die auf Γ_1 senkrecht dazu stehende Achse OK, die im O-Punkt oder Stützpunkt des Ordinatensystems aufliegt, den Namen „Stützachse".

Der Sammelbegriff „Elastischer Beckenboden" umfaßt alle jene Partien der Stammwand, welche unterhalb des Beckenringes liegen. Es ist dies die Fascia pelvis mit allen ihr



Figur 60.
Der elastische Beckenboden des Weibes beim Menschen nach BUMM.

aufsitzenden, flächenhaften, ringförmigen und muskulösen Verstärkungen. (Siehe v. ARX, Arch. für Entw.-Mech. XXIX, 2.)

I. a) Trigonum urogenitale,
b) M. levator ani (Portio pelvica, Portio iliaca),
c) M. ischio-coccygeus.

II. a) M. constrictor ani,
b) M. bulbo-cavernosus,
c) M. constrictor cunni).

Von innen gesehen bildet dieser elastische Beckenboden, wenigstens in der Leiche des männlichen Erwachsenen ein schönes Kugelsegment; das sich vorne am Angulus

pubis (*A*) und hinten am Steißbein (*D*) ansetzt und das letztere konstruktionell mit seiner äußern Kontur noch in die Kugelform einbezieht. Das Steißbein *DEF* ist also selber funktionell in diesen elastischen Beckenboden eingefügt. Es gehört somit im mechanistischen Sinne ebenfalls unter den erweiterten Begriff des Beckenbodens, wie wir auch anderseits den vordern Ansatzpunkt der Beckenbodenfaszie, die Symphyse (*ABC*), hier einbeziehen müssen (s. Fig. 49).

Es muß aber schon hier darauf hingedeutet werden, daß nicht nur die Stellung des Os coccygeum bei den beiden Geschlechtern des Menschen eine verschiedene ist, sondern vor allem auch seine Beweglichkeit, und dies sowohl seine äußere wie seine innere: seine innere durch die leichtere Verschieblichkeit der einzelnen Knöchelchen untereinander, beim weiblichen Typus, die äußere infolge der lockereren Verbindung in der Symphysis sacrococcygea und der steilern Abduktion des ganzen Steißbeinkörpers in dieser Verbindungslinie. All diese Faktoren in Verbindung mit der Kontraktionskraft der Beckenbodenmuskulatur bedingen einen vollständig andern Steißbeinmechanismus beim Weibe als beim Mann (s. u. II A 1 c β).

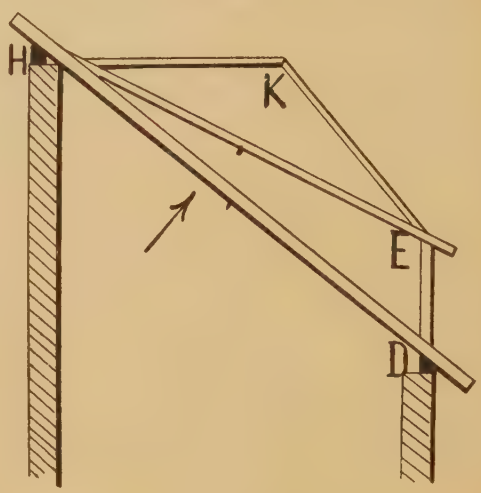
Über die Ursachen der Entstehung des Steißbeinknicks, den wir beim Menschen allein finden (Symph. sacro-coccygea), haben wir uns oben, anschließend an das Kapitel über den Lendenknick geäußert.

Unter *Beckenbodenebene* verstehen wir nun die Ebene, welche senkrecht zur Medianebene stehend durch den Scheitel des Arcus pubis *A* und die Spitze des Steißbeines *D* hindurchgeht, auf Γ_1 also die Sehne des Bogens *AD* darstellt, während die *Steißbeinebene* durch den Scheitelpunkt *A* und die Steißbeinfuge *EF* hindurchgeht. Sie wird hinten von den beiden Cornua coccygea überragt, die als Sperrhaken des Beckenbodenmechanismus gelten müssen (s. Fig. 49 u. 51); sie ist beim Manne von untergeordneter Bedeutung.

Unter *Symphysenebene* ist die vordere Innenfläche des Beckenringes zu verstehen, wobei nach unserer Bestimmung als Fixpunkte (s. Seite 22) nicht die eigentliche Symphysis pubis zur Projektion gelangt, sondern vielmehr die seitlich daranstoßenden Knochendurchschnitte der Schambeine. Diese Ebene ist die eigentliche Stützebene für die Urinblase. Wenn wir so zu der Auffassung gedrängt werden, daß das Bereich des Beckenbodenmechanismus auch auf die Symphyse und das Steißbein hinüberreicht, so führen uns einerseits die längst bekannten Tatsachen, daß die Verbindung des Steißbeines mit dem Kreuzbeine sich bei den beiden Geschlechtern verschieden gestaltet, anderseits die Erwägung, daß dadurch eine ungleiche Widerstandsfähigkeit im untern Teile des Wirbelstabes bei beiden Geschlechtern notwendig herbeigeführt werden müsse, zu der Ansicht, daß wir funktionell das untere Ende dieses Stabes am richtigsten an die Symphysis sacro-coccygea verlegen. Diese Auffassung sieht also **das Steißbein als ein funktionelles Mittelglied an zwischen dem stabilern Rückenstab und dem elastischen Beckenboden,** indem es dem ersten gegenüber als relativ veränderlich und mobil, dem letztern gegenüber als relativ stabil (fest) erscheint. Am männlichen Beckentypus, wo die Steißbeinverbindung mit dem Kreuzbein eine innigere ist, erscheint das Steißbein also mehr als Teil des Wirbelstabes als beim weiblichen Typus, wo es funktionell weit eher dem Beckenboden zuzurechnen ist. B.S.39.

Es sollte nun nicht mehr befremden, wenn ich dem erweiterten Begriff „Beckenboden" auch einen neuen Begriff gegenüberstelle, unter dem Namen „*Beckendach*". Darunter verstehe ich die Formierung der Vorderfläche des Kreuzbeines, vom Promontorium bis zur Steißbeinfuge, auf Γ_1 also die Linie *EH*. Diese Linie *EH* ist nicht nur bei den beiden Geschlechtern, sondern auch bei ein und demselben Geschlecht individuell sehr verschieden gewölbt und geformt. — Beim männlichen Typus herrscht die winklige, beim weiblichen die gewölbte Konstruktionsform vor.

Und diese Konstruktion ist auf Γ_1 etwa eine ähnliche, wie die eines Dachstuhles, und zwar die eines Pultdaches. Ein solches Pultdach besitzt zwei Stützpunkte, *H* und *D*. auf denen die Hauptrafen aufliegen. Mit der Konstruktion der *Rafenlinien HD* ist das Pultdach in seiner einfachsten Form fertig. Es kann aber nachträglich durch Sparren- und Mansarden-Konstruktion beliebig ausgebaut werden, je nach Bedürfnis und Platzmangel (s. Fig. 61 *K*).



Figur 61.
Die Pultdachkonstruktion des männlichen „Beckendaches" (Erklärung im Text).

Der männliche Beckentypus findet seine Rafenlinie in der Verbindungslinie des Widerlagers: Promotorium (*H*) mit der Steißbeinspitze (*D*) oder auch mit dem Tiefstpunkt des Kreuzbeines (*E*), je nachdem man die Festigkeit der Verbindung zwischen Kreuz- und Steißbein wertet. Genetisch ist diese Länge gegeben durch die Länge des Beckenringes (s. Fig. 40 *ER*, Konstruktion des Lenden- und des Steißbeinknicks).

Damit kommen wir auf den wesentlichen Teil der Beckenform, den *Beckenring* selber, zu sprechen. Was darunter genetisch zu verstehen sei, sowohl in ontogenetischer, wie in phylogenetischer Beziehung, welche Veränderungen ihm durch die prekären Raumverhältnisse im menschlichen Uterus erwachsen, und welche Stellung diesem Ring in der Bildung des Lendenknicks zukommt, ist bereits erörtert. Auf einen Punkt noch möchte ich hier zurückkommen, da er mir die Richtigkeit meiner Anschauungen zu verbürgen scheint (s. Fig. 40).

Der Anatome unterscheidet an der Kreuzbeinwirbelsäule den Beckenteil (Pars pelvina) und den Perinealteil (Pars perinealis). Dabei ist es völlig gleichgültig, wie viele Wirbel an der Bildung des Kreuzbeines teilnehmen (s. H. BLUNTSCHLI: Über die individuelle Variation im menschlichen Körperbau).

Es müssen also durchaus andere Momente die Formbildung bedingen, als das seinerzeit von FEHLING u. a. angenommene „spezifische Wachstum der Knochen", das auch für die Entstehung der intrauternen Wirbelsäulenverbeugung (Lendenknick) als Kausalmoment angeführt worden ist; diese Erklärung ist im Grunde nichtssagend. Die beiden genannten Kreuzbeinteile scheinen mir durchaus in Form und mechanischer Anlage den beiden Teilen: *n* und *d* (Fig. 40) zu entsprechen, wie sie bei der Abbiegung des Beckenzylinders entstehen. Anderseits habe ich die Konstruktion des Beckendaches mit der Mansardenkonstruktion des Pultdaches verglichen, die, um Platz zu gewinnen, auf die Rafenebene aufgesetzt wird. Beide Anschauungen lassen sich sehr wohl vereinigen angesichts des hohen Elastizitätsvermögens der organischen Körpersubstanz. Den besten Aufschluß gibt darüber das Verhalten der ideellen Achsen, wie wir sie auf Γ_1 kennen gelernt haben.

Die überraschende Entdeckung dreier senkrecht aufeinander stehender Beckenachsen, sowie vor allem der Umstand, daß der Projektionspunkt der Drehachse (*P*) auf Γ_1 des männlichen Beckens im Kreuzungspunkt der beiden andern Achsen liegt, hat uns bereits Anhaltspunkte gegeben für die Beurteilung der innern Struktur der ideellen Beckenkugel, die wir uns in Gedanken aus einer geschnitzten Elfenbeinfigur herausgedrechselt haben.

Inzwischen auch haben wir uns über die Entstehung des Lendenknicks Rechenschaft zu geben vermocht und dabei eine Abbiegung des Beckenzylinders infolge äußerer Druckeinwirkung angenommen. Daraus geht hervor, daß das weitere Studium der Körperachsen unerläßlich ist für die Beurteilung struktureller und statischer Verhältnisse des Becken- und Körperbaues.

Über den scheinbaren Widerspruch von $SS = \infty$ und Spindelform $X—Y$ siehe oben A 2 c Lenden- und Steißbeinknick.

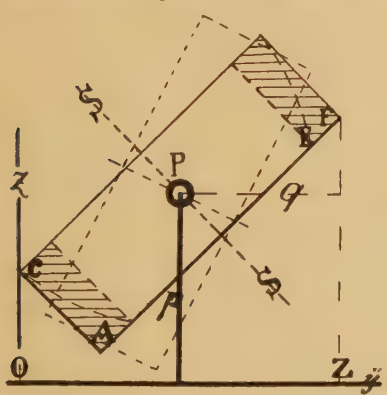
Wir dürfen daher ohne Bedenken den zylindrischen Beckenring als Segment einer unendlich langen Spindelform auffassen.

Über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein ideeller Achsen der menschlichen und tierischen Rumpfform hat sich bis jetzt der Statiker wenig Rechenschaft gegeben. Einzig die Hüftachse, die wir nun als Querachse bezeichnen, hat ihre gebührende Beachtung gefunden als Balancierlinie für den Stamm. Mit ihr hat man sodann die Schwergewichtslinie für den ganzen Körper in Korrelation zu bringen gesucht.

All' diese Erklärungsversuche mögen in mehr oder weniger vollkommener Weise das Problem des aufrechten Stehens und Gehens gelöst haben. Eine Erklärung über das Zustandekommen der Körperform gaben sie nicht.

Die Seelen- oder Richtachse und die Statik des Beckenringes. Als versteiftes Segment einer als unendlich lang gedachten Spindelform hat das zylindrische Beckenrohr auch seine unendlich lange, gerade Achse $SS = \infty$. Sie verläuft in der Mitte des Zylinderlumens parallel seinen Wänden. Beim Geschützrohr wird sie „Seelenachse" genannt (s. Fig. 37). Bei einem begrenzten Rohrstück ist auch diese SS-Achse begrenzt. Der Schwerpunkt liegt bei völliger Symmetrie und Homogenität des Zylinders in der Mitte dieses Achsenstückes, also in P (Fig. 62).

Der Zylinder oder Ring liegt nun, wie jeder Körper von Gewicht, im stabilen Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt direkt unterstützt ist. Dies ist in der Tat der Fall, wenn eine ideelle Querachse direkt durch den Schwerpunkt, also durch den Mittelpunkt der SS-Achse des Zylinders, geht. In jeder Lage des Rohres findet dabei statisches Gleichgewicht statt. Alle entsprechenden Punkte haben dann gleichen Abstand von der Schwerpunktlinie p; ihre Lote gehen selbstverständlich als Vertikale mit dieser parallel.



Figur 62.
Ausbalancieren des Zylinderrohres $AC-EF$ im Punkte P.

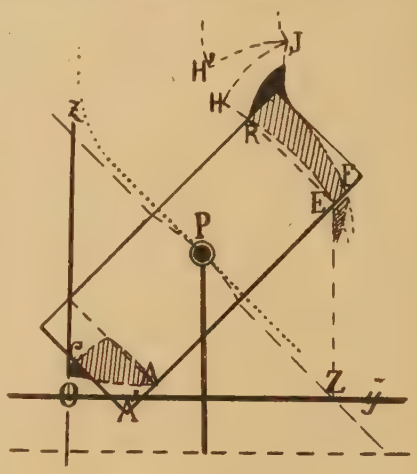
Auf diesem Prinzip haben wir ja bekanntlich anfänglich unser neues Orientierungssystem aufgebaut, indem wir die Vertikale von C, also CO zur Z-Ordinate machten.

Damit erhalten wir auch in Figur 63 den Schlüssel für das mathematische System der Projektionspunkte, mit dem uns das Bild der Γ_1-Ebene anfangs in so überraschender Weise gegenüber trat: Unser mathematisches System steht somit im Einklang mit dem physikalischen Gesetz. Das ist die große Bedeutung, die wir unserer Formanalyse jetzt schon beimessen dürfen.

Aber so ganz einfach gestalten sich die Verhältnisse am anatomischen Beckenring immer noch nicht. Wie unsere Untersuchungen über den Lendenknick ergeben haben, finden bereits an der hyalinen Uranlage des menschlichen Beckenzylinders durch besondere Druckverhältnisse hervorgerufen difformierende Veränderungen statt, die sich mechanistisch

erklären lassen als gleichzeitig auftretende Erscheinungen von Kompression, Dehnung, Stauchung und Abbiegung. Da außerdem in der Massierung der Wandsubstanz des Beckenringes wie des Rückenstabes nach dem Schwanzende zu eine Reduktion eintritt als Folge der Spindelform, so wird dadurch das statische Gleichgewicht des Zylinderrohres noch mehr ins Schwanken gebracht. Doch die organische Substanz ist elastisch und vermag durch Selbstdifferenzierung neue statisch gewonnene Gleichgewichts-Positionen materiell zu verstärken.

Das geschieht, indem der Beckenring als Teil der Rumpfblasenhöhle auftritt. Wie viele Relationen nur schon für die Formbildung an der Wirbelsäule in Betracht fallen, das sind wir bei der Konstruktion des Lendenknicks inne geworden. Sie kommen auch hier wieder in Frage, sobald es gilt, den Beckenring in seiner Drehachse auszubalancieren und alle innern und äußern Kräfte ins Gleichgewicht zu setzen. Und das Resultat dieses Ausgleiches ist die Beckenform, wie sie sich durch die Projektion auf Γ_1 (Tafel I) ergeben hat und wie sie durch das Experiment des gebrochenen Schlagbaumes in ihrer phylogenetischen Entstehung demonstriert worden ist. (Experiment IX.) Die einzelnen Komponenten dieses höchst komplizierten Spannungsausgleiches lassen sich am allerbesten herausfinden und in ihrem Werte würdigen, indem wir das Projektionsbild auf Γ_1 benützend alle seine Ordinatenwerte zum Ausgangspunkt für die Rekonstruktion der Form machen und dabei zugleich auch das mathematische System nie ganz aus den Augen verlieren.



Figur 63.
Ausbalancieren des männlichen Beckenringes.

Zu der Grundform des jugendlichen Beckentypus, der eben demonstrierten Zylinderform, verhält sich im Prinzip die ausgeweitete Form des ausgewachsenen männlichen Typus genau so wie die Konstruktion eines einfachen Pultdaches zur Mansardenkonstruktion (Fig. 61). Die ideelle Rafenebene der Beckendachkonstruktion ist auf Γ_1 gezeichnet durch die Verbindungslinie der Endpunkte H (Promontorium) und D (Steißbeinspitze). Diese Linie wird auf Biegung in Anspruch genommen und ist durch den mechanischen Vorgang bei der Lendenknickbildung bereits als Rohrwand gekrümmt (s. Fig. 40). Wenn indes das Beckenrohr auch eine Krümmung erlitten hat, so konnte doch eine wesentliche Ausweitung des Zylinderrohres bis jetzt durch unsere Untersuchungen noch nicht konstatiert werden. Sie tritt beim Individuum erst später auf, das heißt zu einer Zeit, wo es längst hat gehen gelernt und seiner Pubertät entgegengeht. Zu gleicher Zeit tritt auch die Harnblase tiefer in das Lumen des Beckenringes hinab. Beide Erscheinungen scheinen in einem kausalen Zusammenhange zu stehen, und ebenso eine dritte, bekannte Erscheinung: Ich meine die spätere Abrundung des spitzen fötalen Beckenendes der Jugendform.

Die Ausweitung eines jeden Ringes setzt aber stets das Vorhandensein einer gewissen Kraft voraus. So auch die Ausweitung des Beckenringes. Doch genügt das Vorhandensein einer solchen Kraft allein nicht hierzu; ohne maschinelle Vorrichtung, welche die Umsetzung der Kraft in Arbeit ermöglicht, ist ihre zweckmäßige Verwendung doch undenkbar.

Im Experiment IX haben wir im System der doppelten schiefen Ebene bereits eine „einfache Maschine“ von komplizierterer Zusammensetzung kennen gelernt. Diese

Hebelmaschine wird durch die Schwerkraft einer fallenden Kugel in Aktion gesetzt, wobei die lebendige Kraft (kinetische Energie) in Spannkraft (potentielle Energie) umgesetzt wird. Wie auch die beiden schiefen Ebenen zueinander und zur Horizontalen geneigt sein mögen — der Mittelpunkt der von ihnen getragenen Kugel ist stets auf der Halbierungslinie des Öffnungswinkels zu suchen, den die beiden Ebenen zueinander bilden.

Nun dürfen wir an die Konstruktion der Form herantreten! — Indem wir zur Projektion des männlichen Beckens zurückkehren und das durch Berechnung gefundene mathematische System in der Lage der Projektionspunkte stets im Auge behalten, legen wir dieser Konstruktion all die dort gefundenen Größen zugrunde. Dabei dürfen wir nun mit Vorteil gebräuchliche morphologische Namen und Begriffe in Anwendung bringen, die wir bis anhin ängstlich gemieden hatten. Wir verstehen also in Zukunft unter A beispielsweise den Scheitelpunkt des Angulus pubis, unter D die Steißbeinspitze usw., wie aus Tafel I und II leicht ersichtlich ist.

a) Konstruktion der Form auf Γ_1. (Hierzu Tafel II.)

Voraussetzung: Gegeben ist die obere, horizontal liegende Seite b eines vertikal orientierten Quadrates von gegebener Länge b,

$$b = 13{,}5 \text{ cm}.$$

Diese Quadratseite b ist zugleich Seite eines gleichseitigen Dreieckes, dessen eine Spitze nach unten sieht. Sie entspricht am männlichen Becken in aufrechter Stellung der direkten Entfernung des Scheitelpunktes des Hiatus canalis sacralis ***(K)*** von der Mitte der Interspinallinie $\boldsymbol{GG'}$.

Aufgabe: Es ist zu suchen: die Lage der übrigen Fixpunkte auf Γ_1 nach Gesetzen eines mathematischen Systems, sowie die Konstruktion der Form nach Gesetzen mechanisch statisch funktioneller Anlagen im Einklang mit den Erfahrungen und Beobachtungen ihrer genetischen Entwicklung und unseres Orientierungssystems.

Lösung: Wir bezeichnen wieder die Endpunkte des gegebenen b-Quadrates mit den Buchstaben $OGKZ$ und legen die beiden Seiten OG OZ in Koordination mit unserm räumlichen Orientierungssystem:

$$OG = \text{vertikale } Z\text{-Achse}, \quad OZ = \text{horizontale } y\text{-Achse}.$$

Um die Beweisführung zu kürzen, und konstruktionelle Beweise an Stelle der mathematischen gelten zu lassen, führten wir zur größten Sicherheit im Original die Zeichnung im doppelten Maßstabe aus. Schon dadurch wird meiner Ansicht nach in den meisten Fällen eine genügende Sicherheit des Beweises erbracht, nachdem wir einmal das mathematische System durch genauere Berechnung klargelegt haben. Nachrechnungen und Beweisführungen sind dabei jederzeit möglich.

Ich ziehe im Quadrate die Diagonalen OK Stüzachse und $ZG = SS$-Haupt- oder Seelenachse. Sie schneiden sich im Punkte P, der die Lage der Querachse und zugleich den Mittelpunkt des umschriebenen P-Kreises bezeichnet. Sodann lege ich die Kreisperipherie durch die Eckpunkte O, G, K und Z des Quadrates und ziehe das Achsenkreuz durch den Mittel- und Drehpunkt P.

Damit ist die statische Orientierung, nicht nur der Beckenform, sondern der ganzen Körperform für die „aufrechte“ Stellung bereits gegeben, denn wir haben seinerzeit unserer Orientierung das Naturgesetz H. MEYERs, das der aufrechten Körperstellung entnommen ist, zugrunde gelegt.

Der Hilfsschnittpunkt Q der Kreisperipherie auf der Ordinatenhöhe des Drehpunktes P wird mit dem Mittelpunkt O verbunden. Die Linie OQ schneidet die Quadratseite ZK

in D, wodurch die Lage der Steißbeinspitze bezeichnet ist. Der obere Rand BC der Symphyse kommt auf dieselbe Ordinatenhöhe zu liegen (s. Tafel I und Tabelle I) $ZQ = QK$;

$\sphericalangle QPZ - \sphericalangle QPK - 45^\circ$ (Zentrumwinkel des zum $\overset{\frown}{ZQ}$ zugehörigen Peripheriewinkels),

$\sphericalangle QOZ = \sphericalangle \delta$ ist also $= \frac{45^\circ}{2} = 22\frac{1}{2}^\circ$. (B.S. 3.)

Nun sind auch die vier Ecken des Rechteckes $GKCD$ fixiert. Das Legen der Diagonalen CK und DG ergibt das Zentrum M eines Kreises, der durch die Eckpunkte von G und K geht.

Damit ist aber GK zugleich auch Seite des eingeschriebenen, gleichseitigen Dreieckes (Voraussetzung). Da die Lage der Basis dieses Dreiecks am Viereck eine horizontale ist, (Voraussetzung), so geht ihr Lot vertikal durch M und durch P.

Die Spitze des Dreiecks liegt also in der gleichen Entfernung $= b$ von G und K auf dem Lote von P und M. Die Relation in der Lage der beiden Kreiszentren P und M ist dadurch geregelt. Im gleichseitigen Dreieck liegt nämlich der Schwerpunkt (Schnittpunkt der drei Lote) nach bekanntem, geometrischem Erfahrungssatz in $^1/_3$ Lotlänge von der zugehörigen Basis entfernt. Damit ist die Entfernung des Kreiszentrums M von GK schon durch die Voraussetzung geregelt.

Ich ziehe die Kreisperipherie vom Zentrum M aus durch G und K, sie geht auch durch die Fixpunkte C und D, sowie durch A und F. Es ist nun interessant zu sehen, daß genau die Hälfte dieser Kreisperipherie, nämlich alles, was unterhalb der Diagonalen CMK des Kreises liegt, morphologischen Beckenkonturen entspricht, nämlich CA = Außenseite der Symphyse, AD = elastischer Beckenboden, DF = Außenseite des Steißbeins, FK = Spinalkante des Kreuzbeins (Lig. sacro-coccygeum posterius medium) und in der seitlichen Ansicht beim männlichen Beckentypus einen Kreisbogen darstellt, nicht aber so beim weiblichen. Wenn bis jetzt auf diese Tatsache noch nicht genügend hingewiesen worden ist, so geschah es offenbar deshalb, weil man

1. eine genaue Projektionsmanier nicht kannte,
2. an der Ständertheorie festhaltend das Wesentliche an der Beckenform von Nebensächlichem nicht zu unterscheiden vermochte,
3. den männlichen und den weiblichen Typus in ihren geschlechtlichen Formunterschieden, Wanderung des Azetabulums, Funktion des Beckenbodens und Steißbeins usw. nicht genügend auseinanderhielt.

Die Konstruktion des Femurkopfes ist auf unserer Γ_1-Ebene durch zwei Ordinatenpunkte gegeben: der Durchmesser der projizierten Form beträgt 4,0 cm, der Radius des Gelenkkopfes also 2,0 cm. Es sind nun die Ordinatenwerte des Drehpunktes P (Tabelle I)

$p_z = 6{,}7\ (5)$ cm, $p_y = 6{,}7\ (5)$ cm

ferner $e_z = 8{,}75$ cm

$h_l = 4{,}75$ cm gesichert.

Ein Kreis, der von P aus mit 2,0 cm Radius gezogen wird, tangiert also vorn die Vertikale von H_l und oben die Horizontale von E.

So einfach die Lagekonstruktion der äußern Fixpunkte G, C, A, D, F und K gewesen ist, so schwer hält es nun, die genügenden Anhaltspunkte für die „innern Beckenpunkte" B, E und H_k zu finden; sind ja doch der Relationen und Proportionen so viele, die wir bei der Konstruktion des Lendenknicks als maßgebende Faktoren kennen gelernt haben! Sie fallen für die Ausbildung der individuellen Variation hauptsächlich ins Gewicht, indem hier vor allem aus Dicke und Widerstandsfähigkeit des Wirbelstabes, Länge des Becken-

zylinders, die relative Mächtigkeit des Verstärkungsgrates usw. mitspielen. Zu Hilfe kommen uns in diesem Konstruktionsversuch auch die Erfahrungssätze von Experiment VII und Experiment VIII.

Die mit fortschreitender Entwicklung immer mehr ins Lumen des Beckenringes sich hinabsenkende Harnblase benützt — theoretisch gedacht — auf dieser Wanderung vom Fixpunkte am Nabel ausgehend die innere Bauchwand mit der innern Symphysenfläche BA als (gekrümmte) schiefe Ebene so lange, bis sie in ihrem Falle einen konstanten mechanischen Widerstand erfährt. Dieser wird ihr geboten durch den elastischen Beckenboden, bzw. durch die Beckenbodenebene (Beckenausgangsebene), welche durch die Linie AD dargestellt wird. Die mäßig gefüllte Blasenkugel U wird also auf AD zurückgehalten bzw. auf diese Ebene zurückgeworfen (s. Figur 51). Der Perpendikel der Beckenbodenebene geht aber durch das Kreiszentrum M, da AD eine Sehne des M-Kreises ist. AB und AD stellen also zwei koordinierte, schiefe Ebenen dar, deren Spuren sich auf der Kreisperipherie in A schneiden. Das Zentrum der Blasenkugel ist unter allen Umständen auf der Halbierungslinie ihres Öffnungswinkels zu suchen. Nach B. S. 9 geht aber diese Halbierungslinie von A aus nach M — während das Perpendikel von AD gleichfalls durch das Kreiszentrum von M geht. Das Zentrum der Blasenkugel U muß also stets bei wechselnder Füllung der Blase auf der Linie AM auf- und absteigen.

Zwei Punkte auf der Halbierungslinie AM sind es besonders, die konstruktionell Beachtung finden: 1. Der Schnittpunkt von AM mit BD ($b_z = 5{,}6$ cm und der Schnittpunkt mit der Ordinate von P; $p_z = 6{,}75$ cm).

Verlegen wir das Zentrum U_1 auf den ersten Schnittpunkt, durch den auch die Stützachse OK geht, und legen eine Kreisperipherie so, daß sie die beiden schiefen Ebenen AB und AD berührt, so ergibt sich für diesen Kreis U_1 ein Radius

$$u_1 = 2{,}95 \text{ cm},$$

während U_2 im höher gelegenen Schnittpunkt einen Radius von

$$u_2 = 4{,}35 \text{ cm}$$

aufweist. Der Linie AM lege ich die Bezeichnung „*Steiglinie*“ bei, weil auf ihr das Blasenzentrum mit wechselnder Füllung auf und nieder steigt.

Was ich unter Blasenkugel verstehe, ist bereits erörtert. Das Kugelminimum bezeichne ich mit U_1, das Maximum mit U_2. Diese Bezeichnungen sollen auch der Einfachheit halber für das Kugelzentrum gelten.

Es ist hierbei nochmals wohl zu beachten, was wir unter dem Maximum der Blasenkugel zu verstehen haben. Es ist nicht etwa mit der Maximalfüllung der Blase identisch, die noch weit größere Grenzen erreichen kann. Aber selbstverständlich behält die Blase ihre Kugelform nur solange bei, als ihr Inhalt unter äußerm, überall gleichem Druck oder Widerstande steht. Das ist nur solange der Fall, als die gefüllte Blase gänzlich im Beckenringe liegt, in dessen Lumen sie durch die Kontraktion der Beckenbodenmuskulatur zurückgeworfen wird, wobei sie auf der Beckenbodenebene in Gleichgewichtlage stehen bleibt. Weiterhin vermag die Wirkung der Beckenbodenmuskulatur nicht zu reichen. Ist die Füllung der Blase so stark, daß ein Teil der Kugel über den Beckenring hinausragt, dann wird die Blase eiförmig, bei noch stärkeren Füllung verkehrt eiförmig, wie man sich an der Leiche experimentell überzeugen kann unter der Voraussetzung, daß das Experiment unmittelbar nach erfolgtem Tode, d. h. vor dem Eintreten der Totenstarre und an jugendlichen Individuen vorgenommen wird. Aber auch bei der Eiform, die konstruktionell aus einer größeren (U_2) und einer aufgesetzten kleinen Halbkugel besteht, kommt U_2 dynamisch stets allein zur Geltung.

Warum soll aber gerade der Urinblase bzw. ihrem Inhalt eine so mächtige und ausschlaggebende Bedeutung für die Beckenformierung zugesprochen werden, wie wir dies in

früheren Kapiteln wiederholt getan haben? — Es geschieht dies aus dem einfachen Grunde, weil ihr Inhalt sehr beweglich, zugleich aber selber gar nicht plastisch, also inkompressibel ist.

Nach hinten oben, gegen das Kreuzbein hin scheint nun die U_2-Kugel ebenfalls im Lumen des Beckenringes frei zu liegen. Sie wird jedoch hier, während sie auf der schiefen Ebene der Schambeine (AB) und auf der Beckenbodenebene (AD) aufruht, vom Gegendruck der vordern Kreuzbeinwand in eben so hohem Grade fixiert gehalten. Dies geht schon aus der Konstruktion dieser Beckenpartie hervor, indem die Peripherie von U_2 durch die Rafenlinie HD tangiert wird, wie aus Tafel II hervorgeht.

Konstruktion des Beckendaches. (Hierzu Figur 61 und Tafel II.)

Bei der Pultdachkonstruktion sind drei Momente in Erwägung zu ziehen:

1. ist die vordere Kreuzbeinfläche infolge der Lendenknickbildung bereits von früher Jugend auf leicht gebogen (s. Figur 40 und 20—25);
2. endigt der Verstärkungsgrat (Columna spinalis) der Rückensäule im Hiatus canalis sacralis (K) auf der Höhenkote von G (von Prof. STRASSER mündlich bestätigt).
3. wird die Festigkeit des Kreuzsteißbeinteiles dieser Rückensäule in der Symphysis sacro-coccygea unterbrochen, wenn auch diese Schwächung am männlichen Becken keineswegs so bedeutend ist, wie wir sie später beim weiblichen Typus finden werden.

Dieser letztere Punkt hat uns beim Steißbeinmechanismus bereits beschäftigt. Wir haben dort gesehen, daß man beim männlichen Beckentypus den Endpunkt der Wirbelsäule in der Steißbeinspitze selber zu suchen hat, während er am weiblichen Becken an der Symphysis sacro-coccygea sitzt. Darauf deuten übereinstimmend eine Anzahl von Beobachtungen und Tatsachen.

Wieder von der Grundform des Beckenzylinders ausgehend und in Anlehnung an die Pultdachkonstruktion müssen wir als ursprüngliche Länge des Zylinders das Grundmaß annehmen, das durch den Vorgang des Lendenknicks teils gedehnt und gekrümmt, teils verkürzt worden ist. Am ausgebildeten Becken ist diese Länge des Grundzylinders bezeichnet durch den direkten Abstand der extremsten Punkte dieser Skelettpartie: Den Promontoriumspunkt am Kreuzbein H_k und die Steißbeinspitze D. Es ist die Rafenlinie DH_k (Fig. 61).

Der Widerlagerpunkt auf der Vertikalen KZ ist längst bestimmt. Fixpunkt H^k liegt in unserer Projektion auf GK kurz vor dem Schnittpunkt dieser Horizontalen mit deren Lot, das durch die Peripherie des P_f-Kreises geht (s. Seite 104).

Aber die Kreuzbeinvorderfläche entspricht schon beim Neugebornen nicht mehr einer planen Ebene. Beim männlichen Typus des Erwachsenen ist sie noch weit mehr abgeknickt und individuell sehr verschieden gestaltet. Gewöhnlich zeigen männliche Becken eine deutliche Zweiteilung der Flächenwölbung und die beiden Flächen stoßen meist in der Mitte der Vorderfläche des dritten Kreuzbeinwirbels unter scharfem Winkel aufeinander, so auch bei unserm projizierten Exemplar, wo sogar zwei Knickrinnen deutlich sichtbar sind: die eine der Lage der Diagonale CMK, die andere schärfere der Stützachse OPK entsprechend. Wesentlich für die Konstruktion ist die Dicke der Kreuzbeinwand bei K, die in unserm Fall $1^1/_2$—2 cm beträgt. Der direkte Abstand von D zu E = der direkten Länge des Steißbeins ergibt sich aus den Ordinatenwerten:

$$e_z = 8{,}75 \text{ cm} \; ; \; d_z = 5{,}5 \; (6) \text{ cm}$$
$$e_z - d_z = \underline{DE = 3{,}2 \text{ cm}}.$$

Ziehen wir nun zur Konstruktion des Daches unsere Rafenlinien DH_k und verlängern sie über D hinaus bis zur Peripherie des P-Kreises (D'), so fallen uns bei dieser Zeichnung drei Momente auf:

1. Die Rafenlinie DH_k tangiert den Blasenkreis U_2,
2. der äußere Abschnitt DD' entspricht der Länge des Steißbeins DE,
3. das Perpendikel auf der Mitte von DH_k errichtet, geht durch den Drehpunkt P.

Konstruktionell vermag man also die Lage des Promontoriumspunktes H_k zu finden, indem man von D aus eine Tangente an den U_2-Kreis zieht. Ihr Schnittpunkt mit der Quadratseite GK bezeichnet die Lage von H_k. — Noch bleibt uns übrig, die Lage der innern Fixpunkte E und B zu suchen. Beide Punkte scheinen mit A dadurch in Korrelation zu stehen, daß dieser Winkel am männlichen Becken = 90° beträgt (Fig. 15). Zur Konstruktion von E nehmen wir die Lage von F zu Hilfe. A und F sind Peripheriepunkte im M-Kreis, F auf der Ordinatenhöhe vom Zentrum M. F wurde von uns seinerzeit auch in der Verlängerung von AE am äußern Rande der Cornua coccygea angenommen. Wenn nun der Peripheriewinkel EAB ein rechter ist, so sitzt er auch dem Durchmesser des Kreises auf.

Ziehen wir nun auch die Sparrenlinie EH_k und ihr Perpendikel, so geht dasselbe in der Zeichnung ebenfalls durch den Drehpunkt P. Danach *stützt sich die ganze Beckendachkonstruktion auf die Drehachse* $\boldsymbol{PP'}$.

Es geht dabei das Perpendikel von EH_k durch den Tangentenpunkt der Hauptrafenlinie DH an der Blasenkugel U_2. Diese Tangentenlinie DH steht nicht mehr ⊥ zur SS-Achse ZG; sie ist bereits in ihrer obern Hälfte etwas gehoben. Es hat also bei der Dachkonstruktion eine Hebung der Hauptrafenlinie, sowie ein nachträglicher Ausbau auf dieselbe durch Ausweitung stattgefunden (Mansardenkonstruktion; s. Fig. 61).

Konstruktion des Lendenknicks (s. Fig. 64 und Tafel II). Sie ist theoretisch in der Entwicklungsgeschichte des Beckenbaues behandelt (s. Seite 63). Die dort gewonnenen Resultate bedürfen noch der Bestätigung im speziellen Falle am weiter modifizierten männlichen Typus des Erwachsenen.

Die Verlängerung des Perpendikels des Beckenbodens AD, das durch das Kreiszentrum M verläuft, tangiert die Vorderfläche des untersten Lendenwirbels H_l und I. Sie gibt somit diesem Wirbel die Stellung.

Als einen der wichtigsten Punkte in der ganzen Statik des menschlichen Körperbaues betrachte ich aber die Spitze des Processus spinosus J dieses letzten Lendenwirbels.

Dieser Punkt J bezeichnet auch in Fig. 42 u. 63 jenen Punkt, um den sich der Bruch des Rückenstabes bei der Knickung der Lendenkreuzbeinwirbelsäule vollzieht. Wie groß sich dieser Bruch- oder Knickwinkel gestaltet, hängt viel von der Mächtigkeit der druckfesten Wirbelkörper (w) und des weniger widerstandfesten Versteifungsgrates der Columna spinalis (v) ab, also vom Verhältnis $w : v$.

Verbinde ich den Fixpunkt C der Symphysis pubis mit dem Promontoriumspunkte H_k, verlängere diese Linie nach aufwärts und ziehe zugleich eine Vertikale innen parallel mit der Quadratseite KZ, ungefähr in der gleichen Entfernung, wie diese von der Peripherie des M-Kreises überragt wird, so erhalten wir den Schnittpunkt J als Spitze des Proc. spin. des letzten Lendenwirbels.

Auf der Linie CH_kJ liegt der hintere Rand des 5. Lendenwirbelkörpers mit stark ausgebildeten „Stauchungswülsten“ auf (Tafel I u. II), während der entsprechende Punkt am Oberrand des ersten Kreuzbeinwirbels an die Linie OJ zu liegen kommt. Der Winkel, den die

beiden genannten Verbindungslinien an der Hinterkante der beiden Wirbelkörper im *J*-Scheitelpunkt bilden, darf *als Öffnungs- oder Bruchwinkel des Lendenknicks* bezeichnet werden. Er berechnet sich leicht aus den Ordinatenwerten von *J* und *C* und beträgt in unserm Falle

$$\sphericalangle CJO = 8^\circ 15'.$$

Damit sind wir mit der Konstruktion der männlichen Beckenform auf Γ_1 zu Ende gekommen. Wir konnten dieselbe auf der einzig gegebenen Basisgröße $b = 13{,}5$ cm durchführen, ohne nur eines einzigen weitern Längen- oder Winkelmaßes zu bedürfen, denn die eingestreuten Berechnungen, die sich nur auf Ordinatenwerte stützten, gehören strenge genommen nicht zur Konstruktion. Fast alle Winkelgrößen haben sich durch natürliche Teilung des rechten Winkels ergeben, der bei der Formbildung des männlichen Typus überall als mächtig wirkender Faktor auftritt (s. Fig. 15).

So finden wir nicht nur im Mittelpunkt der Drehachse PP' ein Achsenkreuz von drei senkrecht aufeinanderstehenden Achsen zusammenlaufen, noch mehr hat uns überrascht die rechtwinklige Verschränkung all unserer Beckenfixpunkte mit dem Scheitelpunkt *A* am Angulus pubis (Fig. 15).

Und erst das hexagonal funktionierende Winkelsystem des *M*-Kreises mit seinen natürlichen Winkelgrößen von 60°, 30°, 15° usw., das konstante Verhältnis der beiden Kreise von *M* und *P* zueinander! — Auch wird die konstante Korrelation des *P*- und des *M*-Kreises ihren besondern Grund haben müssen, den anzugeben wir freilich vorerst noch nicht in der Lage sind. Doch dürfen wir hier bereits die Provenienz der beiden Kreise etwas näher würdigen.

Der kleinere, hexagonal funktionierende *M*-Kreis faßt auf seiner Peripherie die große Mehrzahl der Projektionspunkte zusammen. Ihre Lage wird vom Zentrum *M* aus geleitet, in welchem die wichtigen Perpendikel und Linien mechanischer Anlagen, wie der Beckenbodenebene, die Steiglinie usw. des ganzen Beckenteiles der Stammform zusammenlaufen.

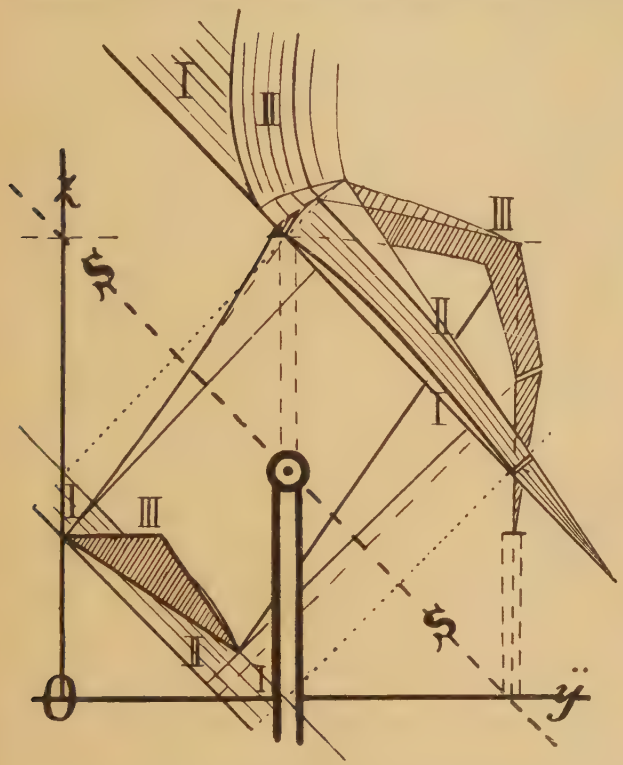
Diesem Zentrum *M*, sowie seinem Kreise gebührt daher in erster Linie das Prädikat mechanisch oder *formbildend*. Die letztere Bezeichnung scheint mir zutreffender zu sein.

Von seinen drei Achsen, bzw. Durchmessern ist keine vertikal orientiert, sie haben andre Richtung, und wenn wir eine Linie als Richtungslinie des formbildenden Kreises bezeichnen wollten, so müßte sie senkrecht zum Durchmesser *CMK* stehen, zu jener Halbkugel, die wir oben als Beckenende der Stammform bezeichnet haben. Dieses Lot verläuft nach der Aftergegend hin, die keineswegs am Tiefstpunkt des Rumpfes, sondern etwas höher nach hinten liegt.

Im Gegensatz zu diesem hexagonal waltenden Kreise funktioniert der größere *P*-Kreis vom Drehzentrum *P* der Hüft- oder Drehachse aus rein tesseral, durchaus im Sinne des Vertikalismus. Er trägt nicht nur in seinem Zentrum das rechtwinklige Achsenkreuz mit der Dreh- und mit der Seelenachse — er balanciert damit die ganze Becken- und Körperform so ein, daß sie bei aufrechter Körperstellung ins statische Gewicht gelangt, indem er die durch den *M*-Kreis gebildete Form mit den Kräften der Außenwelt, vor allen der Schwerkraft in Relation setzt. In einer Gleichgewichtslage macht er die mehr durch Ausgleich innerer Kräfte gebildete Form des *M*-Kreises durch Versteifung der Anlagen stabil. Er kann daher mit Recht als *Formerhalter* angesprochen werden.

Der formbildende und der formerhaltende Faktor stehen also zueinander wie die mathematische Korrelation der beiden Kreise in einem konstanten Verhältnis.

Dadurch, daß wir in der Analyse der Beckenform den wesentlichsten Bestandteil des Beckens, den Beckenring, herausgenommen und für sich betrachtet haben, ist es gelungen, einen wertvollen Einblick in die Strukturverhältnisse der ganzen Beckenform zu gewinnen, wie wir dies eingangs dieser Studie als dringendes Postulat aufgestellt haben.



Figur 64.
Mechanische Evolution des Beckenringes.
I. Die Grundform des geraden Beckenzylinders mit Lendenwirbelansatz. II. der bei der Entstehung des Lendenknicks verbogene Zylinder. III. der ausgeweitete Beckenring.

Schon die mathematische Analyse hatte uns wichtige Anhaltspunkte für das Vorhandensein eines ideellen Achsensystems im Becken gegeben. Richtig deuten aber ließ sich dieses Resultat erst durch die mechanische Analyse an Hand entwicklungsgeschichtlicher Beobachtungen und physikalischer Gesetze. Eine gedrängte Zusammenstellung dieser mechanischen Evolutionen des Beckenringes soll beistehende Figur 64 wiedergeben, wobei die wesentlichen Momente von der Grundform des Beckenzylinders an bis zur fertigen Ausweitung des ausgewachsenen Beckenringes in schematischer Weise angedeutet sind. Da es nun gerade die Γ_1-Projektion gewesen ist, die uns die Geheimnisse des mathematischen Systems in der Anordnung der Lage unserer Beckenfixpunkte enthüllt hat, fühlen wir uns hier verpflichtet, nochmals auf dieses System zurückzukommen, und der mechanischen auch die mathematische Evolution folgen zu lassen. Das Gegenüberhalten beider Systeme kann für das Verständnis der Form nur befruchtend wirken.

b) Die mathematische Evolution der beiden Beckenkreise (s. B. S. 12, Seite 37).

In einem verikal orientierten Quadrat (Fig. 65) von der Seite b werden die beiden Diagonalen und das vertikale Achsenkreuz gelegt und der in- und umliegende Kreis mit den Radien r und R gezogen. Entsprechend der Richtung der einen Diagonalen GZ, die als Hauptachse SS auftritt, werden durch HE und $A'B'$ die begleitenden Nebendiagonalen gelegt, die wie die Hauptachse vorerst als unendlich lang gedacht sind.

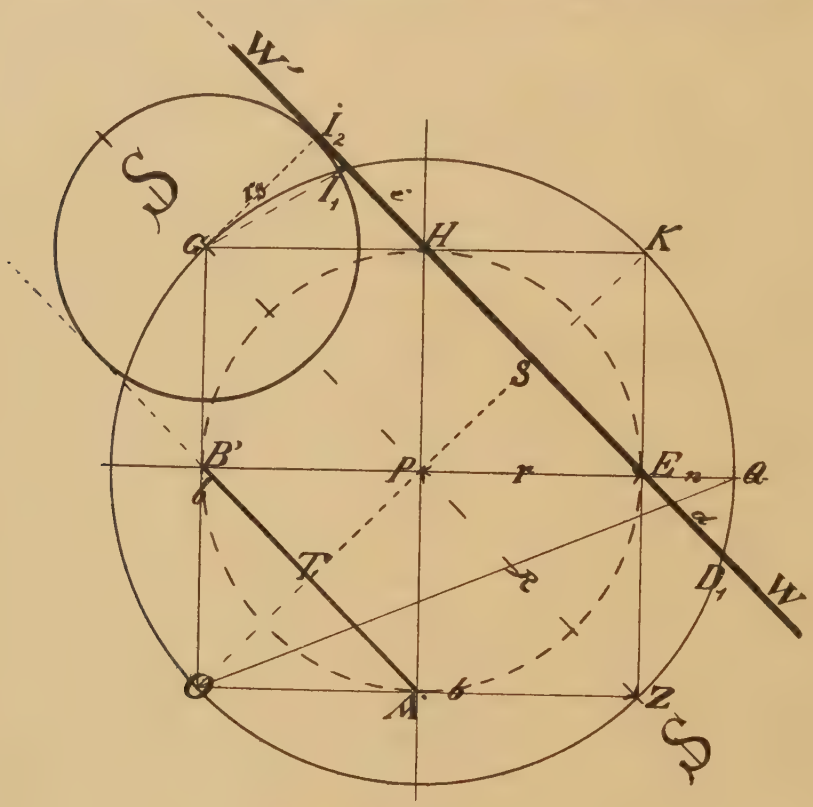
Durch die beiden Kreise wird WW' in drei Abschnitte geteilt, wovon die beiden äußern d und i einander gleich sind, also $d = i$. Der mittlere Abschnitt s ist $= R$. Der äußere Abschnitt von R, $EQ = n$ ist $= R - r$.

Setzen wir nun $d = x$, so ist (Fig. 65)

$$ID_1 = R + 2x, \quad \text{oder} \quad x = \frac{ID_1 - R}{2}.$$

Verbinde ich noch (Fig. 66) I und D_1 mit P und K, so ist $\triangle ID_1K = \triangle ID_1P$, somit $IK = IP = R$, also auch $= PK$.

Es ist somit $\triangle I_1PK = PKD_1$. Beide sind gleichseitige Dreiecke von der Seitenlänge R. I_1K und KD_1 sind also im P-Kreis Seiten des eingeschriebenen Sechsecks, die dritte Ecke des Dreiecks liegt in O. Die Punkte I_1, K und D_1 sind also hexagonal funktionierende Peripheriepunkte des P-Kreises, und damit ist der Übergang von der tesseralen zur hexa-



Figur 65.
Die mathematische Evolution der Beckenform (Medianebene).

gonalen Funktion im Kreise gefunden. Durch die Länge I_1D_1 ist auch die Lage von O und der Radius R bestimmt. I_1D_1 wird die Seite des eingeschriebenen Dreieckes. Genetisch repräsentiert diese Linie den Abschnitt auf der Geraden WW' (Wirbelstab), der zur Beckenbildung Verwendung findet (Kreuzbein und unterster Lendenwirbel [I]).

Herbeigeführt wird die Begrenzung auf WW' (I_1 und D_1) durch den größern Kreis (Radius R), während der kleinere Kreis (r) die Teilung von s, i und d_1 in H und E (Fig. 66) bewerkstelligt. Mit dem Wachsen des einen Radius wächst auch der andere so, daß die Proportionen stets dieselben bleiben (B.S. 12).

Aber die Dreieckseite I_1D_1 ist nicht etwa zu identifizieren mit jener Dreieckseite eines kleineren Kreises, die wir seinerzeit gleich der Quadratseite b gesetzt haben. Nach B.S. 12 und Fig. 19 ergibt sich der Radius r_3 dieses kleinern Kreises durch Ziehen der Linie OQ, wodurch der Abschnitt KD_2 gegeben wird, welcher gleich r_3 zu setzen ist. $KM = \frac{1}{2}CK$ (B.S. 12).

Mit dem Durchmesser CK des M-Kreises tritt ein neuer Faktor auf für die Konstruktion, für die geometrische sowohl wie für die mechanische. Seiner Provenienz nach aber ist er mechanischen Ursprung. Er ist nachweisbar durch die Konstruktion des Lendenknicks (Fig. 39), wo diese Linie dem größten Durchmesser k des gestauchten Beckenrohres entspricht.

Die Stauchung einer Form als reaktive Formbildung ist aber nur das Ergebnis der relativen Festigkeit des Materials, also stets einer physikalischen Eigenschaft der letztern. Auch dadurch ist der M-Kreis, der als neuer Funktionär in die rein geometrische Konstruktion eintritt, gekennzeichnet als Ausgleichungskoeffizient zweier, unter gemeinschaftlichem Druck aufeinander wirkender Körper von verschiedener Festigkeit.

Das reguläre Dreieck $I_1 D_1 O$ verkürzt und begrenzt zunächst den Symphysengrundstab $A'B'$, indem B' nach B, und A' nach A'', später nach A wandert (auf OQ). (Fig. 66.)

Noch haben wir uns mit der Dreieckseite $I_1 D_1$ etwas näher zu befassen, sowie mit ihren drei Abschnitten i, s und d. Von d wissen wir bereits, daß die Länge dieses äußern Abschnittes der Länge von $e = D_2 E$, der geraden Steißbeinlänge entspricht. Aber d ist nach Konstruktion und Figur 66 auch $= i$. Wir hatten oben diese Stablänge auf WW' für den untersten Lendenwirbelabschnitt genommen. Dies scheint auf den ersten Blick unrichtig zu sein. Denn a priori gehört er morphologisch und funktionell scheinbar nicht mehr zur Beckenform, ebensowenig wie der Femurkopf. Dem ist in der Tat nicht ganz so, und gerade der Umstand beweist, wie leicht man durch zu systematisches Anatomisieren zu Fehlschlüssen gelangt: der unterste Lendenwirbel gehört mechanistisch so gut wie der Femurkopf zur Beckenringkonstruktion als anstoßender Teil der Lendenwirbelsäule. Ohne sich erst mit all seinen Nachbarn rechtlich gesichert zu haben, soll keiner ein Haus bauen! —

Der Beckenring sichert seine Beziehungen zum fünften Lendenwirbel durch modifizierende Anpassung im Lendenknick und Verstärkung seiner Bänder (lig. ileo-lumbale), wofür er den Wirbelkörper unter den Schutz seiner Darmbeinflügel nimmt.

Die Frage, wie die Höhe eines Wirbelkörpers zu messen sei, ist keineswegs so einfach, wie es scheint. Was spez. den untersten Lendenwirbel anbetrifft, so hat schon H. STRASSER darauf hingewiesen, daß sein Körper hinten weniger hoch ist als vorn, was sich durch die Lendenknickkonstruktion leicht erklären läßt. Es ist dies die natürliche Folge der Kompression.

Auf die „Stauchungswülste" an der hintern Kontur des fünften Lendenwirbelkörpers habe ich oben bereits hingewiesen.

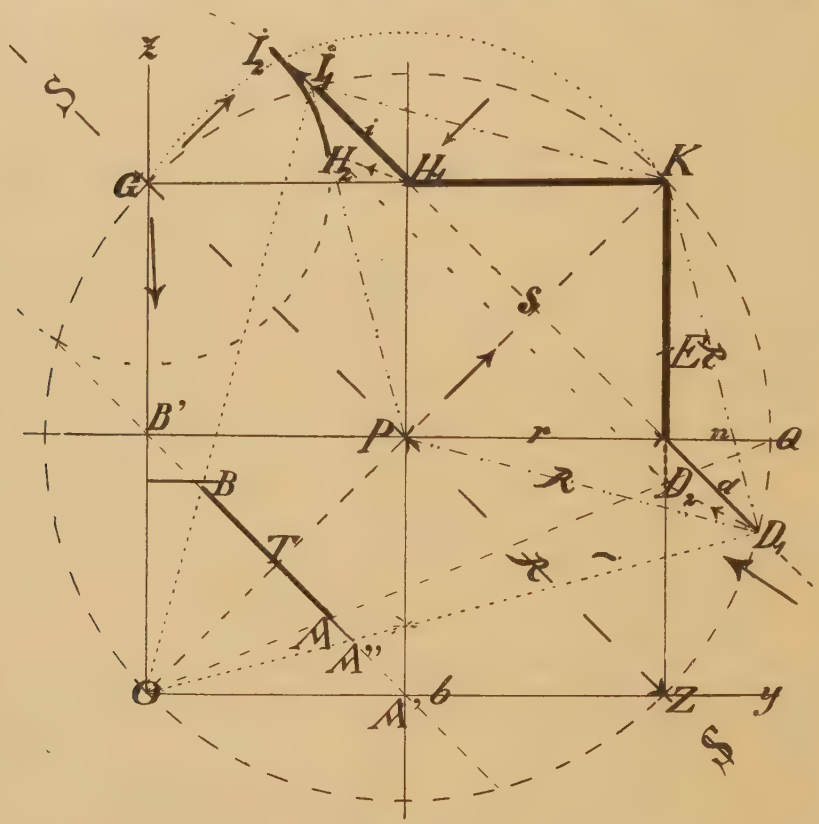
Da wir in einem frühern Abschnitt die Wirbel als Segmente eines elastischen Wirbelstabes angesprochen haben, so müssen wir auch hier von der landläufigen Auffassung abweichen, wonach die Wirbelkörper durch Knorbelscheiben voneinander getrennt sein sollen. Wir halten uns auch hier wieder mehr an den entwicklungsgeschichtlichen Vorgang der Wirbelsäulenbildung. Die primordiale Skelettanlage wird durch Selbstdifferenzierung und partielle Einlagerung von Verstärkungsmaterial autopragmatisch segmentiert (Segmentbildung durch lokalen Bruch). Die Abschnittgrenze fällt in die Mitte des Interstitiums der verstärkten Abschnitte (Wirbelkörper), also in die Mitte der Zwischenwirbelscheibe, wo auch am wohlpräparierten Skelett ein deutlich abgegrenzter, schwacher, ringförmiger Wulst erkennbar ist (s. Tafel I).

Nach Analogie des Lendenknicks sollte man annehmen, daß ein Verknöcherungsprozeß im Primordialknorpel überall da ausbleibt, wo die Struktur derselben durch Überdehnung gestört worden ist. Die Wirbelhöhe wäre also von Knorpelwulst zu Knorpel-

wulst zu messen und zwar, wenn es sich um Biegungen der Wirbelsäule handelt, nicht vorne in der Medianlinie, sondern seitlich ungefähr in der Mitte der Wirbelkörpertiefe.

Messen wir so die Höhe des fünften Lendenwirbelkörpers am Skelett, so entspricht sie ungefähr der Länge des Steißbeins (*DF* auf Tafel I).

Es ist nun nicht gerade leicht, den weitern Verlauf der Entwicklung von *WW'* rein mathematisch zu verfolgen. Man hat sich diese Linie vielmehr stets als materiellen



Figur 66.
Die mechanische Evolution der Beckenform (Medianebene).

Stab zu denken und hat sich auch stets der Knickungen zu erinnern, die derselbe durch äußern Druck erfährt. Dennoch verdient es bemerkt zu werden, daß diese Knickungen gerade in den Punkten *E* und H_1 (Fig. 66) stattfindet, also in Funktionären des tesseralen *P*-Kreises, wobei die drei Abschnitte *s*, *i* und *d* gewahrt bleiben. *s* wird zum Kreuzbeinabschnitt, *d* zum Steißbeinabschnitt und *i* zum Abschnitt des letzten Lendenwirbels, welch letzterer freilich später durch den Knickungsprozeß vom ersten Kreuzbeinwirbel wieder getrennt wird.

Nun finden wir aber den Punkt D_1, die Steißbeinspitze, in der Projektion nach D_2 verschoben, auf dem Kreisfunktionär *OQ*. Dadurch werden die Endpunkte des Doppelabschnittes von *s* und *d*, also D_2 und H_1 einander wesentlich genähert: der Stab biegt sich gegen *K* hin ab. Aber die Summe der Strecken $D_2K + KH_1$ wäre größer als $s + d$. Die

Folge davon ist, daß der Punkt K bei der Abbiegung nicht erreicht wird und daß die Lage des Endpunktes H_1 wechselt je nach der Stärke der Ausbiegung, vorausgesetzt, daß die Lage des Punktes D_2 auf OQ gesichert und gefestigt sei. Die Länge des äußern Abschnittes d, der Steißbeinlänge entsprechend, wird nun von D_2 auf der Quadratseite ZK gegen K hin aufgetragen. So erhält man den Punkt E. $(DE - d)$. Nun muß die Länge EH_1 – Kreuzbeinlänge, von E aus $= s$ gemacht werden, zunächst gleichgültig, ob gerade oder gebogen.

Danach bestimmt sich die höchst variable Lage des Promontoriumspunktes H_1 auch mathematisch.

Käme der Endpunkt H_1 infolge Ausbiegung der Linie EH_1 direkt nach H_1, d. h. in den Schnittpunkt der Mittelvertikalen mit der Horizontalen GK zu liegen, so würde der Außenabschnitt $i = H_1 I_1$ in der ursprünglichen Lage $H_1 I_1$ belassen. Seine Lage und Stellung ist aber zunächst von der Lage des Promontoriumspunktes H_1 abhängig gemacht.

Für die Lagekonstruktion HH_1 scheint nun eins wegleitend zu sein, wie sich aus der Projektion Γ_1 in Übereinstimmung mit unserer Lendenknicktheorie ergibt.

Zieht man nämlich von der Ecke G (Spinalpunkt) des Quadrates $GKZO$ einen Kreis, der die Diagonalen WW' und $A'B'$ (Fig. 65) tangiert, so wird auch der Abschnitt i nach dem Doppelbruch der Linie WW' bei E und H und der dadurch erfolgten Verlagerung der Segmente d, s und i stets diesen Kreis tangieren. Der neue G-Kreis mit dem Radius r_g aber steht wieder in genauer Proportion zu den beiden andern bekannten Kreisen. Sein Radius ist genau halb so groß wie R, also

$$r_g = \frac{R}{2}.$$

Oder: indem wir wieder zur Bezeichnung $r_2 = 2r$ in Fig. 18 und zu unserer mechanischen Theorie zurückkehren:

Der G-Kreis entspricht dem Kaliber des Beckenrings; sein Radius ist der direkte Abstand des fünften Lendenwirbelkörpers I von der Mitte der Interspinallinien GG'.

Mit dem Auffinden dieses dritten Kreises ist scheinbar nichts Neues gewonnen.

Liegt er doch, wie es schon eingangs nachgewiesen, im mathematischen System selber begründet. Auffallend aber ist, daß wir ihn nicht im Beckenrohr selber entdeckt haben, obgleich er zu diesem System gehört, sondern außerhalb desselben. Und zwar finden wir die Andeutung dieser ideellen Kreisform vor dem Eingang des Beckenringes, gerade an dem Orte, wo die Eingeweidekugel, die „Leistkugel", gelegen (s. Fig. 39), der wir beim menschlichen Embryo eine so weitgehende Bedeutung beizumessen geneigt waren. Der Durchmesser dieses G-Kreises, welcher der Kaliberweite des Beckenrohres entspricht, ist also gewissermaßen der Maximaldurchmesser der Kugel, die eben noch ins Beckenrohr geladen werden kann (siehe Konstruktion des Lendenknicks). Bei größer werdendem Durchmesser der Kugel ergeben sich als unmittelbare Folgen: Stauchung, Abbiegung und Knickung und diese Folgen sind es, die wir versucht haben in der geometrischen Darstellung ebenfalls womöglich mit dem gefundenen mathematischen System in Einklang zu bringen. Figur 67 stellt das System dreier zusammengehörender tesseral funktionierenden Kreise dar mit den zugehörigen in- und umschriebenen Quadraten und dem gemeinsamen Zentrum P.

Der kleinere Kreis entspricht dem Kaliber eines Rohrstückes. Er führt den Radius r. Ich nenne ihn Kaliberkreis. Der zweite Kreis soll der äußern Umwandung des Rohres entsprechen, der dritte dem darüber geschweißten Rohrmantel.

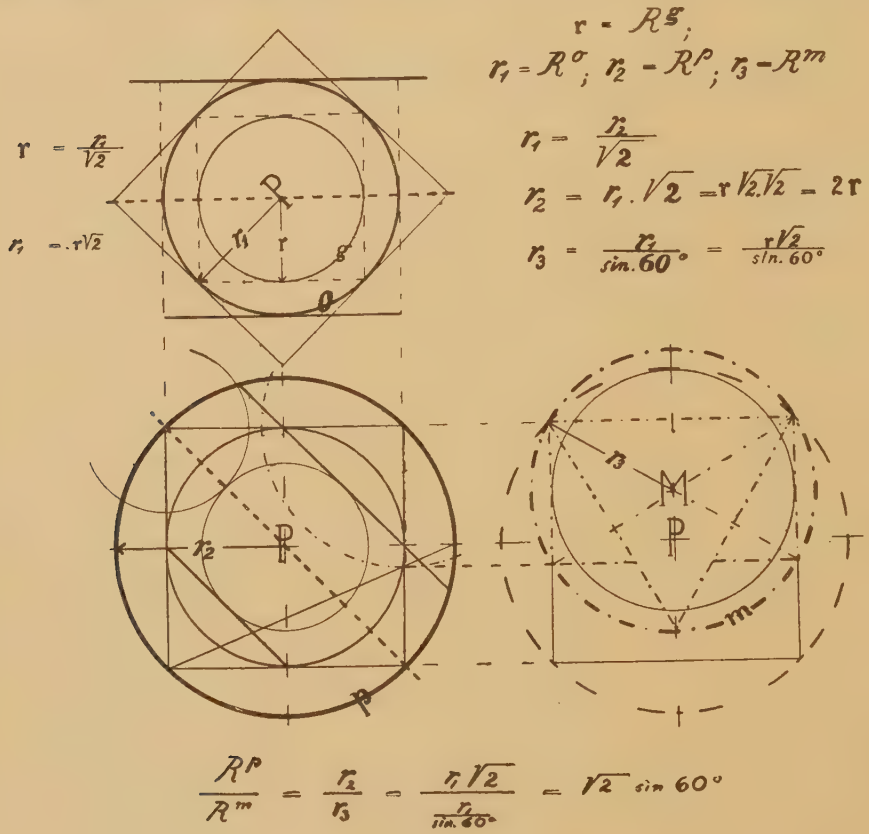
Ihre Bezeichnung sei r_1 und r_2, Umwandungskreis und Verstärkungskreis.

Das Verhältnis dieser drei Kreise und ihrer Radien zueinander bleibt stets das gleiche, ebenso wie dasjenige der zugehörigen Tangentenquadrate und ihrer Seiten. Es ist nämlich (B.S. 12)

$$r = \frac{r_1}{\sqrt{2}}; \quad r_1 \quad r \cdot \sqrt{2} = \frac{s}{2} = \frac{b}{2}$$

$$r_2 = r_1\sqrt{2} = r\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} = 2r$$

d. h. der in der Evolution zweitfolgende Kreis besitzt stets einen Radius von doppelter Länge des Erstern. Wächst daher der Kaliberkreis und ist sein Radius bekannt, so wachsen



Figur 67.

proportional auch der Umwandungs- und Verstärkungskreis und stets bleiben ihre Funktionen tesseral. Wir hatten aber schon bald aus der Lageberechnung der Fixpunkte noch einen andern, den *M*-Kreis kennen gelernt, der hexagonal funktioniert und ihn konstruktionell schon in Fig. 65 und 66 aus dem tesseralen *P*-Kreis-System erstehen lassen durch Lage-Bestimmung des Funktionärs *D* auf *OQ* und *KZ*. Wir erhalten dadurch den Abschnitt *DK*, den wir zum Radius r_3 des neuen hexagonal spielenden *M*-Kreises gemacht haben, und dem auch der Abschnitt *CG* auf *OG* gleich ist. $CK = 2r_3$ wird so Durchmesser im *M*-Kreise.

Damals noch hat uns das Verständnis für das Abhängigkeitsverhältnis des *M*-Kreises vom *P*-Kreise gänzlich gefehlt; wir wurden indes nicht müde, bei jeder Gelegenheit wieder darauf hinzuweisen. Einiges Licht über den Grund dieses Doppelverhältnisses zweier Kreise haben uns erst die mechanischen Untersuchungen über den Lendenknick zu geben vermocht. Während durch reines Wachstum des Beckenringes allein, wie wir eben gesehen haben, das Verhältnis der Radien r, r_1 und r_2 im tesseralen System unter sich niemals gestört wird, so wird das nun mit einem Male anders, sobald einmal mechanische Umgestaltungen am Ringe durch seine Berührung mit der härtern Leistkugel entstehen. In Fig. 14 stellt die Linie $C_1 K_1$ den größten Durchmesser $k = 2r_2$ des gestauchten Beckenrohres dar. Dieses letztere tritt beim Menschen erst nach voll erfolgter Umgestaltung (Stauchung und Achsenkrümmung), in Korrelation zum formerhaltenden Faktor, nachdem sich zu der Difformierung auch noch die Knickung des Wirbelstabes gesellt hat. Im einfachen System des *P*-Kreises tritt als neuer Funktionär *CK* auf den Plan als Durchmesser des neuen formbildenden Kreises, der sich zum statischen *P*-Kreise funktionell in konstante Proportion setzt, denn es ist:

$$r_3 = 2\,r_1 \cdot \sin 60^\circ = 2\,r \cdot \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ.$$

$$= \frac{r_1}{\sin 60^0} = \frac{r\sqrt{2}}{\sin 60^0}$$

oder

$$\frac{r_2}{r_3} = \frac{r_1\sqrt{2}}{\frac{r_1}{\sin 60^0}} = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ = k = 1{,}2246.$$

Das ist aber die bekannte Formel der Konstanz der Beckenform, die wir durch Berechnung der Lagebeziehungen der Beckenpunkte auf Γ_1 gefunden (B. S. 5). Die Projektionspunkte sind aber inzwischen für uns nicht mehr bloße Punkte eines mathematischen Systems geblieben; wir haben sie auch in ihrer gegenseitigen Lagebeziehung vom mechanisch-technischen und physikalischen Standpunkte aus nach Kräften gewürdigt.

Wie diese Formel der Konstanz zu deuten sei, darauf kommen wir später noch mehrmals zu sprechen. —

Wir verlassen damit die Seitenprojektion Γ_1. Sie hat uns viel Anregung zum Denken und bereits eine Menge neuer Vorstellungen gegeben, die Stand zu halten scheinen, von welcher Seite man sie auch beleuchten mag.

Weitere Projektionen und Konstruktionen am männlichen Becken.

Die Darstellung der Form auf einer Ebene genügt selbstverständlich nicht zur vollen Kenntnisnahme der räumlichen Entfaltung der Form; es müssen solche Darstellungen auch folgen auf wenigstens noch zwei anderen Ebenen. Während im seitlichen Aufriß, auf Γ_1, die geraden Durchmesser des Beckens voll und ganz zur Anschauung gelangten, die Schräg- und Querdurchmesser aber verkürzt erschienen, ja sogar da, wo sie symmetrisch gelegene Punkte verbanden, in einen Punkt zusammenfielen, so finden wir nun bei den neuen Projektionen diese Verhältnisse vertauscht, die Mängel ausgemerzt: Die Quermaße kommen zur Geltung und die Tiefenmaße sind verkürzt.

Wir bedürfen aber zur Darstellung auf den neuen Projektionsebenen weiterer Angaben über die Quermaße, die wir uns wieder an unserem Beckenexemplar wie ein Geburtshelfer zunächst durch direkte Messung mit dem Beckenzirkel verschaffen. Selbstverständlich können wir diese Messungen zwecks Darstellung nur an ein und demselben Beckenexemplar vornehmen, das wir für die Untersuchung auf Γ_1 verwendet haben.

Die dabei auf konventionelle Weise gefundenen Quermaße siehe Tabelle III, Seite 117.

Nachdem wir einmal in unserem Orientierungsmodus der menschlichen Becken- und Körperform die Symmetrie- oder Medianebene Γ_1 als Ordinatenebene verwendet haben, so dürfen wir inskünftig alle Quermaße nur von dieser Symmetrieebene aus berechnen. Die dort gefundenen konventionellen Maße sind daher zu halbieren. An Stelle zweier Zeichnungen für eine Projektionsebene: einer projektiven und einer konstruktiven, wie sie für Γ_1 nötig waren, läßt sich von nun ab die Sache bedeutend einfacher und doch übersichtlich gestalten. Indem wir für unsere Darstellungen die Spur der Symmetrieebene in die Mitte der Zeichnung nehmen, lassen wir auf der einen Seite ein möglichst genaues Projektionsbild der einen Beckenhälfte erstehen, während wir auf der andern Seite das Spiegelbild konstruktiv hinzufügen. Die beiden Bilder verschmelzen so zu einem übersichtlichen Ganzen. Dabei wird es gut sein, wenn wir die Beziehungen „Rechts" und „Links" den beiden Bildflächen überhaupt beigeben wollen, daß wir dies nicht in laienhafter Weise vom Beschauer aus tun, sondern im Sinne des Heraldikers, der sich bei der Bezeichnung seiner Schildfelder hinter den Schild versetzt denkt. Wir denken uns als also Beschauer hinter dem Becken stehend, das wir darstellen wollen; dann identifiziert sich unsere Körperseite auch in der Benennung „rechts", „links" mit derjenigen des bezeichneten Gegenstandes.

So projizieren wir also die rechte Beckenhälfte und konstruieren symmetrisch dazu die linke. (S. Tafeln III—VI). Die Scheidewand der beiden Zeichnungen bildet immer die Symmetrieebene Γ_1. Dabei werden für alle weitern Untersuchungen möglichst nur diejenigen Beckenfixpunkte ins Auge gefaßt, die wir schon auf Γ_1 als Projektionspunkte kennen gelernt haben. Auch die Bezeichnung bleibt dieselbe. Da jedoch von nun ab mit zwei identischen, symmetrisch gelegenen Punkten zu rechnen ist, haben wir uns über die Bezeichnungen genauer zu verständigen (s. Einleitung 3, Figur 5 und 6).

Bei den Untersuchungen der Medianprojektion hatten wir bereits die Vermutung ausgesprochen, es möchte das dort gefundene Kreissystem auch auf den andern senkrecht dazu stehenden Projektionsebenen gefunden werden, so daß wir es in der Tat und Wahrheit mit einem ideellen Kugelsystem zu tun haben würden. Es wäre dies der Fall, wenn man vom Kreiszentrum aus, dessen Lage bei der Symmetrie der Form als auf Γ_1 liegend gegeben erscheint, auf den neuen Projektionsebenen die Kreisperipherie mit genau der gleichen Radiusweite ziehen und dann auf dieser Kreislinie anatomisch morphologisch oder funktionell wichtige Punkte usw. finden würde.

In der Harnblase haben wir innerhalb einer gewissen physiologischen Breite der Füllung bereits eine reelle und mechanisch fungierende Kugel erkannt Die Lage ihres Zentrums $U_{2max.}$ beim maximalen Kugelradius $u_{max.}$ ist auf dem Schnittpunkte der Seelenachse $G_1 Z_1$ mit der Steiglinie AM angenommen und die Länge von u_2 zu 4,35 cm berechnet. Die Lage des Zentrums U_2 läßt sich damit auf den übrigen Projektionsebenen mit Leichtigkeit feststellen, ebenso auch die Kreiszentren P und M.

Alle Originalzeichnungen führten wir wie diejenigen auf Γ_1 in doppeltem Maßstabe (2 : 1) aus. So konnten ohne weiteres alle Ordinatenwerte auf Z_1 und Y_1 Verwendung finden, gleichgültig ob solche aus direkter Messung am Becken oder aus mathematischer Berechnung und Konstruktion hervorgegangen. Darin liegt ja gerade der große Wert einer genauen räumlichen Orientierung der Form, daß sich mit Leichtigkeit Darstellungen der letztern nach allen gewünschten Richtungsebenen machen lassen, ohne daß die Form dabei zerstört wird.

Die x-Achse verläuft in allen Darstellungen seitwärts nach links.

Tabelle III.

Tab. III.

Es ist also Distanz der	Konventionell:	von der Medianlinie ab:
Spinae ilei GG'	27,0 cm	13,5 cm
Cristae ilei	31,0 cm	15,5 cm
Trochanteren	33,0 cm	16,5 cm
Linea arcuata, größter Querdurchmesser derselben	15,6 cm	7,8 cm
Tubercula pubis CC'	3,5 cm	1,75 cm
Tubera ischii, Außenmaß	12,0 cm	6,0 cm
Tubera ischii, Innenmaß	9,0 cm	4,5 cm
Zentrum der Femurköpfe PP', Drehachse	19,0 cm	9,5 cm
Durchmesser der Femurköpfe Rf	4,0 cm	
Entfernung der Femurachsen (i. d. Beckenabszisse gemessen)	12,6 cm	
Entfernung Trochanter-Femurkopfzentrum P	7,6 cm	
Dicke der Beckenwand unterhalb des Acetabulums	2,1—2,2 cm	
Schambogenweite (Innenmaß) zwischen LL' auf der Abszissenachse gemessen	4,5 cm	2,25 cm

Es kommen ferner hier noch in Betracht als durch Berechnung und Konstruktion auf Γ_1 gewonnen folgende Maße:

Radius des P-Kreises $R_p = PG_1 = 9{,}545$ cm
Radius des M-Kreises $R_m = MG_1 = 7{,}79$ cm
Minimaradius der Blasenkugel $U_1 = 2{,}957$ cm
Maximaradius der Blasenkugel $U_2 = 4{,}35$ cm

Im fernern läßt sich leicht jeder Punkt von Γ_1 auf jede beliebige andere Projektionsebene übertragen, sobald nur die Richtung dieser letztern zu Γ_1 genau bekannt ist. Der Lotpunkt auf die Spur setzt seine Lage zum O-Punkt auf der Ordinate fest.

Schon ein oberflächlicher Vergleich der hier zusammengestellten Maße macht stutzig. $GG' = 13{,}5$ cm entspricht genau dem Grundmaß unserer Beckenform auf Γ_1, der Quadratseite b, und die halbe Länge der Querachse $PP' = 9{,}5$ cm entspricht dem Radius des P-Kreises (9,545 cm), womit schon der Beweis für das Vorhandensein einer ideellen Kugel bereits gegeben ist.

4. Projektion und Konstruktion auf der Frontalebene Γ_2.

Frontaler Aufriß. (Hierzu Tafel III).

Orientierung: Nach dem Naturgesetz H. MEYERs stehen an einer senkrechten Frontal- oder Pubospinalebene Γ_2 die vier Beckenpunkte G und G', C und C' angelehnt. Die beiden Tubera ischii (s. Seite 19) L und L' kommen auf die horizontale Γ_3-Ebene zu stehen. Die Symmetrieebene Γ_1 steht auf den beiden andern Ebenen senkrecht. Die Vertikalachse z_1 der Γ_1-Ebene wird hier Ordinate mit all' ihren dort gefundenen Werten. Es kann also diese Ordinatenachse z mit ihren Loten einfach übertragen werden. $z_2 = z_1$.

Der Nullpunkt bleibt ebenfalls der gleiche. $O_2 = O_1$.

Als Abszissenachse x_2 steht in O senkrecht zu z_2 eine neue Achse an Stelle von y_1 (Γ_1). Sie geht nach links durch L, während $-x_2$ von O_2 aus durch L' nach rechts verläuft. Auf x_2 sind die oben angegebenen Quermaße (Tabelle III) als Abszissenwerte aufzutragen.

Projektion und Konstruktion Γ_2 werden hier mit Vorteil zusammen ausgeführt.

In der Mitte O der x-Achse richten wir senkrecht zu dieser die mediane z_2-Achse als Spur der Γ_1-Ebene auf Γ_2, indem wir auf dieser alle Ordinatenlote, die wir auf z_1 (Tafel I und II) gefunden haben, auftragen. Es sind dies folgende Werte nach mathematischer Berechnung auf z_1 (Tafel II).

A	= 1,95 cm	
C, B, D, U_1	= 5,56 cm	$LL' = 2{,}25$ cm Innenmaß.
P	= 6,75 cm	
E	= 8,7 cm	
F, M	= 9,6 cm	
G, H, K	= 13,5 cm	

Den mathematischen Punkt C sahen wir uns bekanntlich genötigt, etwas höher, d. h. auf der Ordinatencote von B und D = 6,56 cm anzunehmen, während die Lage der anatomischen Tubercula pubis eine etwas tiefere ist. Die rundliche Form dieser Schambeinknorren läßt den Punkt nicht scharf fixieren; ihre Mitte liegt etwa 0,3 cm tiefer als B und D.

Wir beginnen die Konstruktion der Form, indem wir auf Z_2 vom Mittelpunkt der Querachse $\boldsymbol{P'P}$, also von Punkt P' aus die Peripherie des P-Kreises ziehen mit dem Radius $R_p = 9{,}545$ cm. Indem wir die außerordentlich kleine Differenz außer acht lassen — wir haben am Becken die Distanz $\boldsymbol{PP'}$ zu 19 cm = 2×9,5 gemessen —, so können wir mit Fug und Recht die Endpunkte dieser wichtigen Querachse auf die Peripherie des P-Kreises verlegen.

$$\underline{PP' = 9{,}545 \text{ cm} = R_p.}$$

Im neuen frontalen Aufriß erscheint die querstehende Drehachse PP' unverkürzt, während die beiden übrigen Achsen, Stützachse O_1K_1 und Richtungs- oder Seelenachse G_1Z_1, hier in gleichem Maße reduziert erscheinen. Sie fallen unter sich wie mit der Ordinatenachse Z_2 zusammen; ihr Kreuzungspunkt mit der Drehachse ist der Ordinatenpunkt P'. Auch die Steiglinie fällt mit Z_2 zusammen.

Damit haben wir nun zwei Beweise gewonnen.

a) Alle Hauptachsen des männlichen Beckens sind gleichlang; denn es ist

$$\begin{aligned} \text{auf } \Gamma_1 \quad & PG = PK = R \\ \text{auf } \Gamma_2 \quad & PP'_2 = R = 9{,}5(45). \end{aligned}$$

b) Da Γ_2 zu Γ_1 rechtwinklig steht, so ist der Beweis erbracht, daß die gleich langen Kreisradien P_{p1} und R_{p2} einem Kugelsystem angehören.

Konstruieren wir nun auch noch den M-Kreis mit dem Radius $R_m = 7{,}79$ cm vom Kreiszentrum $M_2 = F_2$ aus, so schneidet diese Kreisperipherie diejenige des P-Kreises gleich wie auf Γ_1 wieder in zwei Punkten g und g'. Das Verhältnis der beiden Kreise zueinander, was Lage und Größe anbetrifft, ist sich natürlich auf beiden Projektionsebenen völlig gleich. Der Schnittpunkt g' der beiden Peripherien läßt sich konstruktiv ebenfalls verwerten, indem hier der äußere Rand der 1 cm breiten Symphysis sacro-iliaca durchgeht. Von innen wird der M-Kreis tangiert von der Linea arcuata, die nicht über diese Kreislinie hinausgeht. Wie ein Blick auf Γ_1 (Tafel II) genügt, überragt die untere Kuppe des M-Kreises den Scheitelpunkt A am Angulus pubis. Sie ist auf Z_2 daher ebenfalls tiefer zu suchen und kommt genau in die Mitte zu liegen zwischen A und dem Urethra-Punkt.

Die Schnittpunkte der beiden Kreisperipherien g'' und g' lassen nun ebenso wie auf Γ_1

das Kreisviereck erstellen. Es ist, da völlig gleiche Proportionen der beiden Kreise unter sich bestehen, diese Quadratseite wieder $b = 13{,}5$ cm, also

$$Gg' = \frac{13{,}5}{2} = 6{,}75 \text{ cm},$$

während $$OG' = 13{,}5 \text{ cm} = 2 \cdot 6{,}75 \text{ cm} \text{ ist.}$$

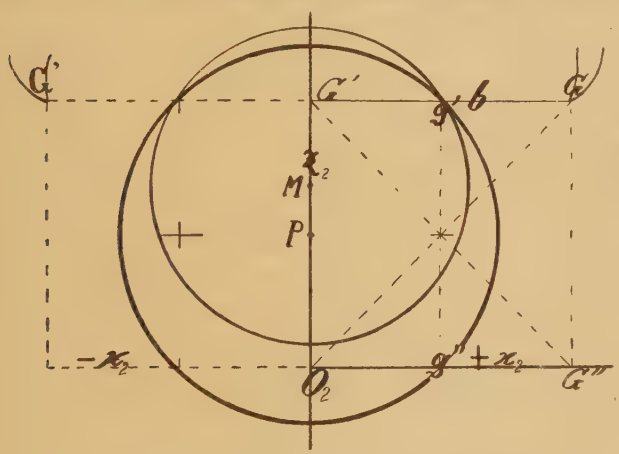
Das Beckenquadrat wird also auf Γ_2 durch die Ordinate Z_2 der Länge nach halbiert. — Aber dieselbe Messung hat oben am Becken ergeben:

Spinae $G'G = 27{,}0 \text{ cm} = 2 \cdot 13{,}5 \text{ cm} = 4 \cdot 6{,}75 \text{ cm}$

also $GG' = 13{,}5 \text{ cm} = O_2G'' = b.$

Damit erhalten wir **zu beiden Seiten von Z_2 wieder ein vollständiges Becken-quadrat von der Grundlänge** b (Fig. 68). B.S. 40.

In dieses Gerippe die Frontalansicht des Beckens zu zeichnen ist nun nicht mehr schwer. Wir tun es unter Berücksichtigung möglichst vieler Detailmaße. Damit ist aber für das kausale Verständnis der Form immer noch nicht viel gewonnen.



Figur 68.
Die Anordnung des mathematischen Systems auf der Frontalebene Γ_2.

Das wird mit einem Male anders, sobald wir nun noch andere Kreise ziehen: den U_1- und den U_2-Kreis (Tafel II), sowie den Kreisbogen des Schenkelkopfes und im fernern in Figur 68 die Diagonalen OG und $G'G''$ im b-Quadrate zu legen beginnen und die Projektionsumrisse der Form hineinzeichnen.

Schon bei der Konstruktion der Form auf Γ_1 mußten wir, durch die experimentelle Erfahrung (siehe Experiment VII) belehrt, die Blasenkugel U_2 zwei schiefe Ebenen nämlich AB und AD tangieren lassen und waren dann höchlich erstaunt zu sehen, daß U_2 noch von einer dritten Ebene, der Ebene der Rafenlinie des Beckendaches tangiert wird (s. Tafel II).

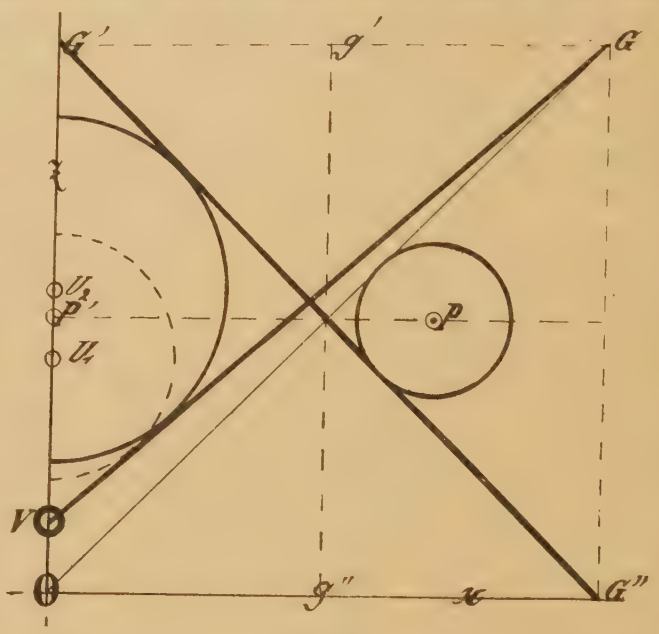
Und noch eine andere Kugel, die in ihrem Durchmesser viel stabiler ist als die Blasenkugel — ich meine den mathematisch wohlgeformten Kopf des Femur — hat auf Γ_1 ihre zwei definierbaren Tangenten-Ebenen gehabt: vorne die senkrechte Ordinatenebene AH_t, oben die horizontale Abszissenebene von E (s. Seite 29 u. 104). Diese beiden Ebenen sind nicht nur konstruktiv, sondern auch statisch von großer Wichtigkeit und ich wage jetzt schon ohne Rückhalt den bedeutungsvollen Satz auszusprechen:

Die Konstruktion der männlichen Beckenform ist eine Kreis- und Tangentenkonstruktion.

Sehen wir zu, wie es sich mit dem Nachweise dieses Konstruktionsprinzipes auf Γ_2 verhält! —

Was die Hüftgelenkkugel anbetrifft, so finden wir selbstverständlich die Abszissenebene von E als Tangentenlinie am P_f-Kreise wieder; die vordere Tangentenebene, die auf Γ_1 durch A und H_t geht, kommt in der Frontalansicht Γ_2 jedoch nicht zum Ausdruck, da sie parallel der Projektionsebene verläuft.

Günstiger gestalten sich die Konstruktionsverhältnisse in bezug auf die Blasenkugeln U_1 und U_2. Ihr Zentrum bewegt sich mit wechselnder Füllung der Blase, da die Steiglinie AM mit der Z_2-Ordinate zusammenfällt, auf dieser letztern auf und ab, und zwar hatten wir zunächst auf Γ_1 (Tafel II) bloß vermutungsweise zwei hervorragende Punkte als Zentren für das Minimum und Maximum der Kugelform angenommen und von diesen Punkten aus die Kreise so gelegt, daß sie die beiden „schiefen Ebenen" (AB und AD) zu Tangenten hatten. Wir benutzen hier genau die gleiche Zirkelweite wie auf Γ_1 (Tafel II), nachdem wir auch die Lage der Zentren durch das Lot auf der Z_1-Achse festgestellt haben.



Figur 69.
Die Tangentenkonstruktion auf der Frontalebene Γ_2.

An die Kreisperipherie von U_1 und U_2 legen wir unten die gemeinsame Tangente. Sie geht auf Z_2 durch jenen Punkt unterhalb A im Schambeinwinkel, den wir eben bereits als Urethralpunkt bezeichnet haben (V). Das scheint sehr natürlich und verständlich zu sein. Um so besser! — Es soll dies daher auch nicht besonders hervorgehoben werden.

Ein anderer Umstand ist weniger selbstverständlich, die Tatsache nämlich, daß die Verlängerung derselben Tangente, die beide Kreise berührt, nach oben hin nach dem Spinalpunkt G verläuft.

Und weiterhin ein anderer Befund! — Ziehen wir im Quadrat $GG'OG''$ die beiden Diagonalen OG und $G'G''$ (Figur 69), so tangieren diese beiden Linien den kleinen Schenkelkopfkreis (P_f), die eine von ihnen, $G'G''$, oben dazu noch den U_2-Kreis. Der Beweis für die Richtigkeit der Tangententheorie wird somit auch durch die Frontalprojektion gegeben.

Besonders schön gestaltet sich hier nun auch die Darstellung der Modellierungsverhältnisse an der Zugs- bzw. Spannungslinie der Ligamenta Pouparti $C' - G'$. Auch die Anpassung der seitlichen Wölbung des Beckendaches an die formende Kreisperipherie von U_2 tritt deutlich hervor (s. Tafel III).

5. *Projektion und Konstruktion auf Γ_3.*

Grundriß der männlichen Beckenform. (Hierzu Tafel IV.)

Projektion und Konstruktion auf die Grundebene Γ_3.

Die dritte der gebräuchlichsten Darstellungsformen eines Körpers, und in der konstruktiven Technik gewöhnlich die Wichtigste, ist der Grundriß. Das ist die Darstellung auf

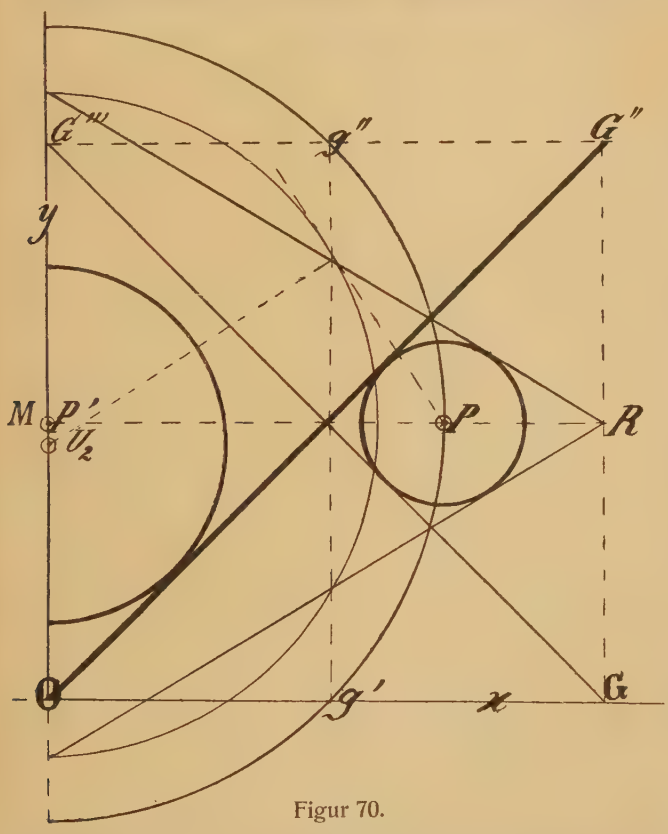
die horizontal liegende Grundebene, die wir in unserer Orientierung mit Γ_3 bezeichnet haben. Ob ihr auch in der Darstellung der Beckenform die Hauptrolle zukommt, bleibe vorderhand noch unentschieden.

Orientierung: Die Horizontalebene, welche in aufrechter Körperstellung unter den Sitzknorren LL' des Beckens gelegt wird, bildet die dritte Hauptebene Γ_3 unseres Orientierungssystems (s. Einleitung Figur 5). Die Spuren dieser Ebene mit der Median- und der Frontalebene werden zu Koordinatenachsen y_3 und x_3. Es sind diese Achsen für uns nicht mehr neu, denn es ist: $y_3 = y_1$; $x_3 = x_2$.

Beide liegen horizontal. Der Grundriß gibt also die Form nach Breite und Tiefe wieder, läßt aber die Höhe unbeachtet.

Von den drei Beckenachsen fallen die Seelenachse $Z_1 G_1$ und die Stützachse $O_1 K_1$ mit der Ordinate y_3 zusammen; beide aber erscheinen in gleichmäßig reduziertem Maßstabe. Vollständig entfaltet ist einzig die dritte, die Querachse $\boldsymbol{P P'}$ $^1/_2 \boldsymbol{P' P}$. Die Projektion geschieht mittelst paralleler Strahlen auf die Grundebene.

Konstruktion. Die Koten von y_1 und x_1 werden auf den Koordinaten y_3 und x_3 aufgetragen und von den betreffenden Kreiszentren P, M, U_1, U_2 und P aus die Radien von genau bezeichneter Länge in Aktion gesetzt. Die Zentren P' und M fallen auf dieser Projektionsebene, weil senkrecht übereinander liegend, in einen Punkt auf y_3 zusammen.



Figur 70.

Konstruktionell erhalten wir auch hier wieder ein Quadrat für die linke Beckenhälfte. Bezeichnet ist dasselbe mit $OGG''G'''$ mit der Quadratseite $b = 13{,}5$ cm. Wir ziehen in diesem Quadrat die Diagonalen OG'' und $G'''G$. Sie tangieren die Schenkelkopfkugeln. Es gibt aber auffallenderweise noch zwei Linien, welche diesen Kreis berühren, nämlich die Verbindungslinien von R mit den beiden Nullpunkten der M-Kreisperipherie auf y_3 (mechanische Konstruktion).

Zum dritten ist die Femurkugel auf Γ_1 begrenzt von zwei Vertikalebenen. Die eine, die vordere, geht (s. Tafel II) durch A und H^l, die andere, hintere, stößt auf die Kommissur des Wirbelbogens des fünften Lendenwirbels, eine Relation, deren wir bis anhin nicht inne geworden.

Der Blasenkreis wird hier nur von OG'' tangiert, welche Linie aber zugleich auch „innere Tangente“ am Femurkopf ist (Figur 70). Damit sind die wichtigsten Hauptdaten für die Konstruktion des Grundrisses der männlichen Beckenform gegeben und es ist auf Tafel IV

zu ersehen, wie sich die Beckenkonturen auch hier wieder dem gegebenen Zeichnungsnetze anschmiegen. Hervorzuheben sind besonders folgende Verhältnisse:

1. Die Einbuchtungen zwischen den Prozessus des Winkelbogens gehen auf die Peripherien des U_2 und des U_1-Kreises zurück.
2. Die Linea arcuata tangiert auch auf Γ_3 von innen die Peripherie des M-Kreises.
3. Die hintere Kontur des Kreuzbeines ist ebenfalls durch die Peripherie des formbildenden M-Kreises bestimmt.
4. Die innere Gestaltbildung der Darmbeinschaufeln überschreitet die äußere Hilfslinie GG'' des Beckenquadrates nicht usw.

Die Konstruktion unserer männlichen Beckenform auf Γ_3 führt uns, gleich wie diejenige auf Γ_2, zu der Erkenntnis, daß die Grundform beider Darstellungen im Aufriß sowohl wie im Grundriß ein Rechteck bildet, das aus zwei nebeneinander gelegten Quadraten besteht
B.S. 41. vom Normalmaß der Seite $b = 13{,}5$ cm. Daraus geht deutlich hervor der Satz: **Die Interspinallinie GG' ist in der Norm doppelt so lang (27 cm) wie die senkrecht auf ihrer Mitte stehende Spino-sacrallinie GK** (13,5 cm).

Wenn sich nun dieses Rechteck geometrisch auch auffassen läßt als ein Viereck von zwei gleichgroßen aneinander gereihten Quadraten q und q, so würde ein Blick auf Γ_3 wie Γ_2 (Fig. 68) eher eine andere Anordnung herausfinden lassen. Statt $q + q$ schreiben wir $\frac{q}{2} + q + \frac{q}{2}$. Diese Erwägung geht besonders aus den Beziehungen hervor, welche das Mittelquadrat zu dem statischen P-Kreise einnimmt.

Was die Lagebeziehungen der beiden generellen Kreise, des P-Kreises und des M-Kreises zueinander betrifft, so ist hervorzuheben, daß sie beim männlichen Beckentypus einzig auf dem Grundriß konzentrisch liegen, da M direkt auf P zu liegen kommt. (Tafel IV und Fig. 70.)

So wertvolle Unterstützungen für unsere Theorien uns auch die Konstruktion des frontalen Aufrisses und des Grundrisses der Beckenform geleistet haben mögen, der Darstellung auf der Medianebene Γ_1 sind sie nicht ebenbürtig gewesen. So sonderbar dies auf den ersten Blick hin auch erscheinen mag, — die Erklärung findet sich leicht in dem Umstande, daß bei jenen auf Γ_2 und Γ_3 jeweilen nur eine der drei gefundenen Beckenachsen vollkommen zur Geltung gelangte, indem die beiden andern etwas verkürzt erschienen. Auf der Medianprojektion dagegen kommen zwei Beckenachsen, die Stütz- und die Seelen- oder Richtungsachse zur vollen bildlichen Entfaltung. Es ist dies die natürliche Folge der Schiefstellung des Achsenkreuzes, indem Seelen- wie Stützachse zur Horizontal- wie zur Vertikalebene unter dem Winkel von 45° stehen. Der Richtungs- oder Seelenachse aber kommt offenbar eine bevorzugte grapho-statische Bedeutung zu.

Man wird sich vielleicht gefragt haben, ob es nicht von Vorteil gewesen wäre nach der Erkennung der Beckenachsen diese sofort zu Ordinatenachsen eines Orientierungssystems zu verwenden, da sie ebenfalls ja alle drei in einem Punkte nach drei verschiedenen Raumrichtungen senkrecht aufeinander stehen.

Die Möglichkeit eines solchen Orientierungssystems läßt sich nicht bestreiten. Ob es zweckmäßig wäre, ist in mehr als einer Beziehung fraglich und eine Doppelschwierigkeit würde sowieso auftreten durch die notwendige Rücksichtnahme auf den Vertikalismus. Auch käme der O-Punkt eines solchen Systems in die Mitte der Form zu liegen, ein Umstand, der für die trigonometrische Berechnung einen gewissen Nachteil bieten würde. Schließlich — und das ist der Hauptgrund — ist der Beckenring nur ein Teil der ganzen

Rumpfform, die bei der Orientierung in erster Linie zu berücksichtigen ist. Den Nullpunkt in die Form selber hineinzuverlegen wäre sicherlich nicht von Vorteil gewesen.

Wenn wir aber das Achsenkreuz nicht zugleich auch als Ordinatenkreuz benützen, so beabsichtigen wir doch in der Folge noch die beiden genannten bildlichen Darstellungen zu machen auf Projektionsebenen, welche die ganze Entfaltung der Beckenachsen ermöglichen, einmal auf die Ebene der Richtungs- oder Seelenachse $(GZ)_1$ und sodann auf die dazu senkrecht stehende Stützachse $(OK)_1$. Da diese Ebenen unter allen Umständen zur Symmetrieebene Γ_1 senkrecht stehen, so genügt die Angabe der Achse auf Γ_1 für die Orientierung.

6. *Die Darstellung auf der Ebene der Richtungs- oder Seelenachse.*

Projektion und Konstruktion auf Γ_s. (Hierzu Tafel V.)

Als Haupt- und Richtungsachse des Beckenringes hat sich uns auf Tafel I die Diagonale GZ des Beckenquadrats $(OZKG)_1$ dargetan, die wir im weitern Verlaufe der Untersuchungen als ein Stück der Seelenachse $S—S$ des Individuums erkannt haben, jener unendlich lang zu denkenden Achse der Wurm- und Schlangenkonstruktion, die durch innere Abschnittbelastung (XY) generell und individuell lokal begrenzt und beim Menschen durch die Lendenknickformation gebrochen wird.

Orientierung. Die neue Projektionsebene, die wir mit Γ_s bezeichnen, folgt also dieser Haupt- oder Richtungsachse $(GZ)_1$. Sie steht senkrecht auf der Symmetrieebene Γ_1 und unter einem Neigungswinkel von 45° zur horizontalen Γ_3 wie zur vertikalen Ebene Γ_2. Begrenzt wird die neue Projektionsebene unten durch ihren Durchtritt durch die Horizontale und oben durch die Vertikale. Als Koordinaten für die bildliche Darstellung auf Γ_s funktionieren also einmal die Diagonale $(ZG)_1 = y_s$; Abszisse ist x_s; O-Punkt wird somit Z_1. Die Projektionspunkte auf Γ_s erhalten den Index „s“.

Zwei Achsenlängen entfalten sich auf Γ_s vollständig: die $S—S$-Achse $(ZG)_1$ und die Querachse oder Drehachse $\boldsymbol{P'P}$. Am Becken selber wird die Γ_s-Ebene gelegt durch die beiden Spinalpunkte $\boldsymbol{G'}$ und $\boldsymbol{G}$, sowie durch die beiden Drehzentren $\boldsymbol{P}$ und $\boldsymbol{P'}$.

Konstruktion. P_1 wird als Kreuzungspunkt der P- und der S-Achse Mittelpunkt des Bildes. Der statische P-Kreis berührt oben und unten die Spur der Projektionsebene mit der Vertikal- und der Horizontalebene (Γ_2 und Γ_3), so daß $\boldsymbol{G—G'}$ oben und x_s unten den Kreis tangieren. $P'—P$ steht senkrecht zu y_s im Kreiszentrum P. Die Peripherie geht selbstverständlich wieder durch die beiden Drehzentren $\boldsymbol{P'}$ und P und da das Kreiszentrum in der Projektionsebene selber liegt, und zwar auf der Mitte der Ordinate $y_s = (GZ)_1$, so erscheint der Kreis vollkommen rund. Nicht so der mechanistische M-Kreis. Sein Zentrum M kommt außerhalb der Projektionsebene zu liegen; seine Kote y_s muß zuerst durch das Lot bestimmt werden. Das hat zur Folge, daß die Durchmesser des zu projizierenden Kreises, wohl in ihrem absoluten Werte noch rasch und sicher abgelesen werden können, nicht aber so leicht in der Wechselbeziehung zum Vertikalismus bestimmt werden oder zu den Winkelgrößen eines andern Kreises, dessen Zentrum in der Projektionsebene selber liegt. Mit andern Worten das Verhältnis $\frac{R_m}{R_p}$ erscheint auf Γ_s nicht mehr in derselben sichern Konstanz, wie dies auf den frühern Projektionsebenen der Fall gewesen. Nur in der Breiten-Ausdehnung ist R_m noch genau gleich der frühern Bestimmung: $R_m = 7{,}79$ cm.

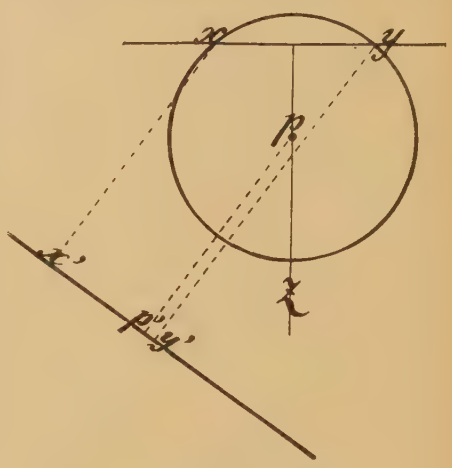
Das eben Gesagte erläutert am besten eine einfache Zeichnung (Fig. 71), wobei die

Linie x—y als eine Horizontale auf der neuen Projektionsebene Γ_s angesehen werden soll. $p'x'$ ist nicht mehr gleich $p'y'$, obgleich p senkrecht unter der Mitte von xy liegt.

Auch von den übrigen Projektions- und Konstruktionspunkten, die wir auf Γ_1 kennen gelernt haben, liegen alle mit Ausnahme von G, P, U_2 und Z entweder über oder unter, also außerhalb der Γ_s-Ebene. Ihre Lagerelation zu dieser neuen Darstellungsebene muß daher ebenfalls zuerst durch das Lot auf ihre Spurlinie, die Richtachse SS, ermittelt werden.

Indem ich so die Lagebeziehungen von M_s auf der Richtachse feststelle, komme ich zu der überraschenden Tatsache, daß das Lot von M auf GZ errichtet, die Kreisperipherie des Femurkopfes tangiert, und zwar nach oben im Schnittpunkte dieser Peripherie mit GZ. Im entsprechenden untern Schnittpunkt sitzt ebenso auffallend das Lot, das von A aus auf $(GZ)_1$ gefällt wird. In der Darstellung auf Γ_s wird also der Femurkopfkreis von A und $M_s \parallel y_s$ tangiert (Tafel V).

Ähnliche Beziehungen des Femurkopfes waren auch schon auf Γ_1 ersichtlich.



Figur 71.
Projektion von p, x und y auf eine Ordinate, die zur Vertikalen z unter einem spitzen Winkel steht.

All diese Relationen scheinen einer nähern Prüfung und Berechnung wert zu sein. Dabei kommt vor allem der Abstand der beiden Kreiszentren M und P voneinander in Frage, den ich mit m bezeichnen will. Es ist also

$$PM = m.$$

Setzen wir $m = x$, so können wir zunächst die Größe von m durch einfache Subtraktion der Ordinatenwerte auf z_1 ablesen, da ja M vertikal über P steht. Es ist dort auf Γ_1

a) $M_z = 9{,}6$ cm, $P_z = 6{,}75$, somit

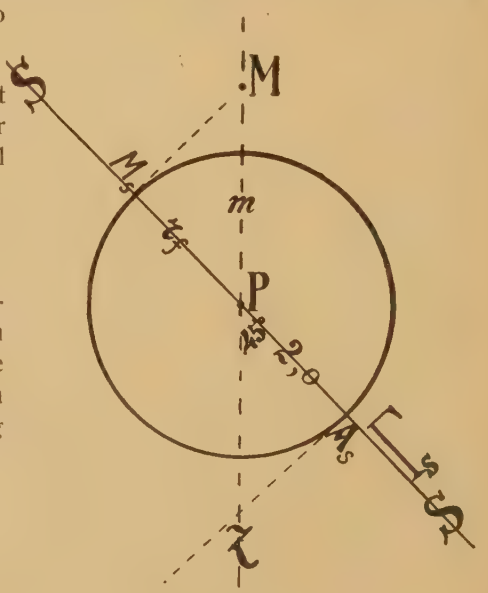
$$m = 9{,}6 \text{ cm} - 6{,}75 \text{ cm} = 2{,}85 \text{ cm}.$$

b) Nach der oben ausgesprochenen Behauptung, daß das Lot von M auf Γ_s in M_s den Femurkopf tangiere, und unter der Annahme ferner, daß der Radius dieses Kreises $r_f = 2{,}0$ cm betrage und Γ_s zur Vertikalen z 45° Neigung habe, so ist $m = x$ gesetzt:

$$\frac{2{,}0}{x} = \sin 45^0 \qquad \text{oder}$$

$$x = \frac{2{,}0}{\sin 45^0} \quad \begin{matrix} = \log & 0{,}30103 \\ - \log \sin & 9{,}84948 \\ = \log & \overline{0{,}45155} = 2{,}82 \end{matrix}$$

$$m = 2{,}82 \text{ cm}.$$



Figur 72.

c) Der dritte Beweis, der die beiden andern an Wert übertrifft, indem er sich auf das sichere Verhältnis $R_p : R_m$ selbst stützt, geht aus Figur 73 hervor.

Voraussetzung $\sphericalangle KGM = 30^\circ$ und $\sphericalangle KGP = 45^\circ$.

Es ist hier $Pg = m + n = Gg = \frac{1}{2}b = 6{,}75$ cm; $m = MP = Pg - Mg$.

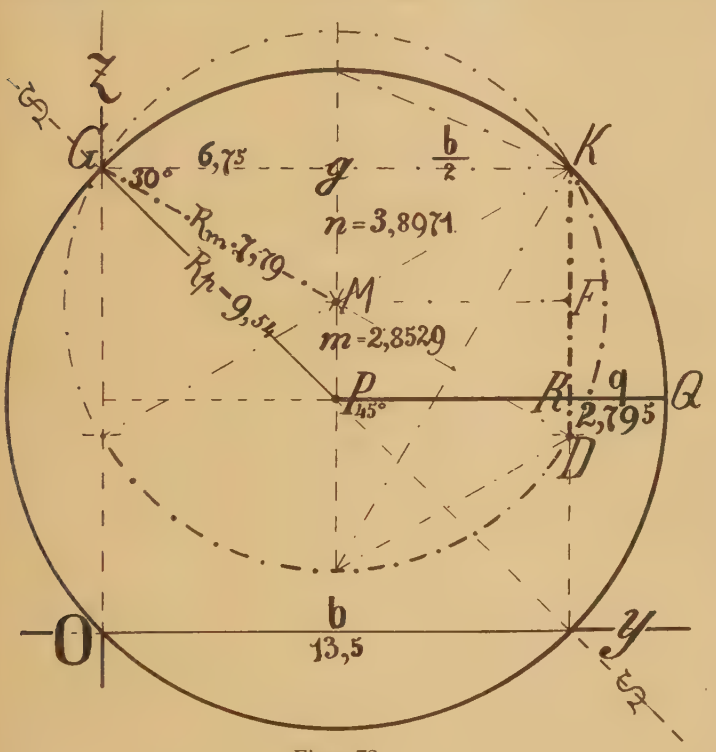
Setzen wir $n = x$, so ist $\frac{x}{6{,}75} = \operatorname{tg} 30^0$.

$$x = 6{,}75 \operatorname{tg} 30^0 = \log \quad 0{,}8293038$$
$$+ \log \operatorname{tg} \quad 9{,}7614394$$
$$= \quad 0{,}5907432 = 3{,}8971$$

$n = 3{,}8971$. Sodann $m = \frac{b}{2} - x = 6{,}75$ cm $- 3{,}8971$ cm. Kontrolle:

$m = 2{,}8529$ cm. $n + m = 3{,}8971 + 2{,}8529 = 6{,}7500 = \frac{b}{2}$.

Nachdem wir nun für m einen trigonometrisch gesicherten Wert besitzen, drängt es uns, den Wert für den Radius des Femurkopfes, den wir am Skelett zu 2,0 cm gemessen hatten, nach Figur 72, ebenfalls genauer zu berechnen. Es sei $r_f = x$, dann ist:



Figur 73.

$$\frac{m}{x} = \sin 45^0.$$

$$x = m \cdot \sin 45^0 = 2{,}8529 \cdot \sin 45^0$$
$$= \log 0{,}45528$$
$$+ \log \sin 9{,}84948$$
$$= \log 0{,}30476 = 2{,}0176$$

$r_f = 2{,}0176$.

Noch auf einen Umstand möchte ich hier hinweisen, der mir nicht ohne genetische Bedeutung zu sein scheint. Der äußere Abschnitt q des Radius R_p, der außerhalb des eingeschriebenen Vierecks liegt, variiert nur sehr wenig vom Abstand der beiden Kreiszentren P und M voneinander. Es ist nämlich

$$PM = \quad m = 2{,}8529 \text{ cm}$$
$$R_p - \tfrac{1}{2}b = 9{,}545 - 6{,}75 = 2{,}795 \text{ cm}$$
$$m - q = 0{,}0579 \text{ cm}$$

Die Differenz beträgt also nur ca. $\frac{1}{2}$ mm zu ungunsten von q. Wir können, diese Differenz vernachlässigend, also sagen, indem wir auf Fig. 67 zurückverweisen: Der direkte Abstand m der Zentren des P- und M-Kreises ist gleich dem äußern Abschnitt von R_p.

$$m = q = r_2 - r_1, \qquad \text{also}$$

gleich der Differenz der Radien des Umwandungs- und des Verstärkungskreises.

Die Verbindungslinie der Spinae ilei G und G' mit den Tubercula pubis C und C', also die Spannungslinie der Ligg. Pouparti geht in ihrer Verlängerung auf Γ_s als Tangente

an den gegenüberliegenden Femurkopf, während eine andere Tangente derselben, die wir vom Nullpunkte Z_s aus ziehen, den Tiefstpunkt der Höhlung des kleinen Beckens bezeichnet, deren scharf ausgeprägte konische Form auf diese Darstellungsebene besonders schön zur Geltung kommt. Selbst eine scharfkantige Knochenleiste kommt als Umschlagfalte der Knochensubstanz an der Innenfläche des Tuber ischii dieser Tangente trefflich zum Ausdruck.

Noch schöner als auf Γ_2 und Γ_3 manifestiert sich auf Γ_s die Tangentenkonstruktion der Blasenkugel U_2 ($u_2 = 4{,}35$ cm). Verbinde ich nämlich D mit G, so tangiert diese Linie die Blasenlinie einerseits und geht anderseits durch die scharfe Kante, welche als Linea arcuata die Grenzen zwischen dem großen und kleinen Becken bezeichnet. Eine Senkrechte, die auf dieser Kante DG errichtet wird, zielt nach dem Medianpunkt I am Oberrand des letzten Lendenwirbels. Eine neue Tangente, die vom Ordinatenpunkt H^1 ausgeht, berührt einerseits die Blasenkugel und anderseits unten den Femurkopf.

Drei Verhältnisse sind es besonders, die von dieser bevorzugten Darstellungsebene aus am besten beleuchtet werden:

1. die Öffnung des Schambeinwinkels,
2. die innere Form des großen und kleinen Beckens,
3. die Schenkelstellung zum Beckenring.

Unser Konstruktionsverfahren hatte sich bis anhin auf die konstante Verhältniszahl (φ) zweier ungleich großer Kreise gestützt, indem wir die Verbindungslinien der Schnittpunkte dieser beiden Kreisperipherien als Basis unseres Systems bezeichneten und diese Linie (b) im größern Kreis als Seite des eingeschriebenen Vierecks, für den kleinen Kreis aber als Seite des regelmäßigen Dreiecks annahmen. Dabei muß aber jetzt schon darauf hingewiesen werden, daß es wohl geometrisch, jedoch statisch durchaus nicht gleichgültig ist, an welche Quadratseite wir das Dreieck anlegen. Für den männlichen Beckentypus kommt hierfür nur die obere Quadratseite in Frage. Mit andern Worten: Das mathematische System muß bereits physikalisch im Sinn der Schwergewichtslinie orientiert sein, da die rein mathematische Lösung ein „oben" und ein „unten" nicht kennt. Aus der Konstruktion ergibt sich sodann die gegenseitige Lagebeziehung (M über P) der Zentren P und M der umschriebenen Kreise der beiden regelmäßigen Polygone von selber. Der Abstand der beiden Zentren (m) voneinander ließ sich nachträglich leicht berechnen, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich ist.

Mit der Berechnung von m und seinem Verhältnis zu q haben wir ein neues Konstruktionsmittel entdeckt, sofern wir die geringe Längendifferenz der beiden Wegstrecken, die konstruktionell kaum in Betracht kommt, außer acht lassen und $m = q$ setzen können. Unter dieser Voraussetzung nehmen wir 2,8(5) cm = 2,79 cm und sagen (s. Fig. 73 u. Fig. 82b):

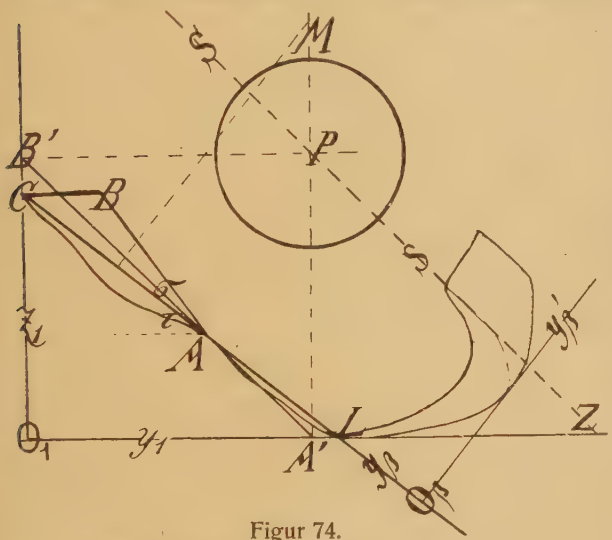
d) Zwei ungleich lange Gerade K—D und P—Q schneiden sich rechtwinklig in einem Punkte R so, daß die innern Abschnitte dieser beiden Geraden, PR und RK, sich gleich sind $\left(= \frac{b}{2}\right)$ und der äußere Abschnitt (q) der längern Geraden (P—Q) gleich ist der Abstandsdifferenz einer Geraden FM, die wir als Lot auf der Mitte F der kleinen Geraden K—D errichten (parallel P—Q). M kommt alsdann auf den Schnittpunkt dieses Lotes mit dem Lote zu liegen, das wir in P (parallel K—D) errichten. P und M werden alsdann zu den Zentren zweier Kreise, die sich in K schneiden und durch die Endpunkte Q und D der beiden Geraden gehen.

Auch diese rein mathematische Lösung hat ebenfalls ihre Richtigkeit nur unter der ausdrücklichen Bedingung, daß die gewonnene Figur nachträglich vertikal orientiert wird, d. h. daß M vertikal über P zu liegen kommt (s. Fig. 82b).

a) Die Projektion des Schambeinwinkels (Angulus pubis) Γ_β.

WALDEYER hat nach zahlreichen Messungen am männlichen Becken den Winkel zu 70—70,79° angegeben. Diese Winkelmessung ist m. W. die einzige Winkelbestimmung, die für unsere Beckenuntersuchungen zum Vergleich herangezogen werden könnte. Es muß dabei betont werden, daß diese Winkelmessungen schon deshalb schwierig sind, weil die Schambeinäste, welche den Winkel bilden, mehrfach geschweift sind und nicht in einer Ebene liegen. Eine genaue Bezeichnung der Fixpunkte ist daher für diese Winkelbestimmung unerläßlich.

Orientierung der Schambeinebene. Nach den mathematischen und mechanischen Untersuchungen über Entstehung und Formveränderungen des Beckenringes mußten wir annehmen, daß das Beckenrohr ursprünglich gerade, also $A'B' \parallel SS$ (s. Fig. 66), gewesen sei. $A'B'$ wird zur Diagonalen im III. kleinen Quadranten des Beckenvierecks und auf dieser Linie ist auch der Scheitelpunkt A des Schambeinwinkels zeitlebens stehen geblieben (Tafel II). Die Stauchungserscheinungen aber haben im Längsschnitt das Rechteck der Symphyse zur Dreieckform umgestaltet, deren längere, nach unten außen gewölbte Seite CA in ihrer Verlängerung durch L geht, jenen Fixpunkt auf der Grundebene unserer Beckenorientierung, der uns bis jetzt nicht viel zu schaffen gemacht hat. H. MEYER hatte seinerzeit das Tuber ischii auf der Horizontalen aufsitzen lassen. Bei genauerer Bestimmung finden wir irgendeinen symmetrisch gelegenen Doppelfixpunkt $L'L'$ der Schaukelkufe des Beckens — den beiden Schambeinästen —, der als Beckentiefstpunkt anzusprechen ist. Das eigentliche Tuber ischii hat sich bereits wieder etwas über die Horizontale erhoben (Tafel II und Fig. 74).



Figur 74.
Neigung der Schambeinebene LC (Γ_β)

Die Neigung der beiden genannten Ebenen zur Horizontalen ist genügend bekannt. Sie ergibt sich aus Γ_1, da die beiden neuen Projektionsflächen ja auf der Symmetrieebene senkrecht stehen, durch die Lage ihrer Spuren $A'B'$ und LAC (Fig. 74).

$A'B'$ hat wie die Richtungsachse SS des männlichen Beckenringes den Neigungswinkel von 45°. Den Neigungswinkel der Spurlinie LAC kennen wir aus der Winkelverteilung bei A (s. Seite 34, Fig. 15), wo $\sphericalangle \tau$ zu $37\frac{1}{2}°$ berechnet worden ist.

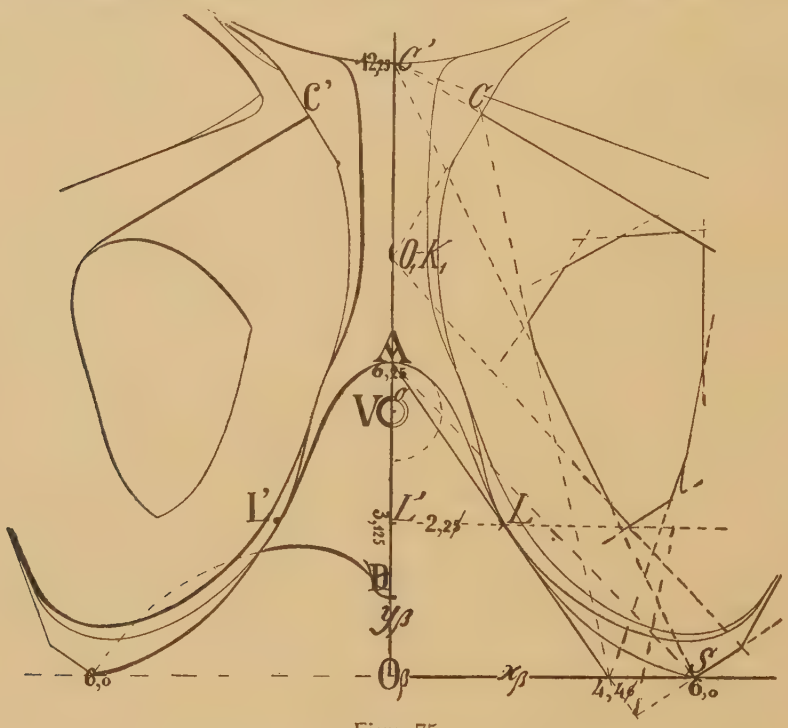
Die Neigungsdifferenz der beiden Schambeinebenen zueinander beträgt also

$$45° - 37\tfrac{1}{2}° = 7\tfrac{1}{2}° = \frac{15°}{2} = \frac{\gamma}{2} = \frac{\sigma}{2}.$$

Da σ (Fig. 74) den Symphysenwinkel CAB bedeutet und dieser Winkel durch $A'B'$ nun halbiert wird, so erscheint unsere Auffassung über die mathematische Entwicklung dieses Teiles des Beckenringes und damit auch des ganzen Beckenzylinders vollauf gerechtfertigt und es fragt sich nur noch, welcher der beiden Schambeinebenen wir für die Projektion den Vorzug geben, falls wir nur eine derselben reproduzieren wollen. Da ist nun ohne

Zweifel diejenige, deren Spur auf Γ_1 mit LAC bezeichnet ist, mit dem Neigungswinkel $\tau = 37\frac{1}{2}^\circ$ die geeignetste. Da τ auch $= \beta$ ist, so nenne ich diese Schambeinebene die β-Ebene oder Γ_β. Sie steht zu Γ_s in einer Neigung von $7\frac{1}{2}^\circ$ und zu y_1 in einer solchen von $37\frac{1}{2}^\circ = \sphericalangle \beta$.

Die Spurlinie CAL auf Γ_1 wird damit zur Ordinate. Der Nullpunkt O derselben darf aber nicht, sofern man die Entfaltung des ganzen Schambogens bis zum Tuber ischii darstellen will, etwa nach L verlegt werden, sondern in ihre Verlängerung, und zwar so weit nach unten, daß dabei alle Punkte des Sitzknorrens noch Ordinatenwerte erhalten (s. auch Tafel V, wo die Projektion des Schambeinwinkels bereits unter 45° steht, also $A'B'$ auf Fig. 74 entspricht). Als Abszisse geht im O_β-Punkt ab die seitwärts verlaufende x_β-Achse.



Figur 75.
Projektion und Konstruktion auf die Schambeinebene $L_1 C_1 = (\Gamma_\beta)$.

M liegt auf dem Lote, das auf der Mitte von AC errichtet ist. Denn A und C sind Peripheriepunkte des M-Kreises.

Nach dieser Orientierung auf Γ_1 bleibt nur noch die Darstellung auf Γ_β beizufügen (Fig. 75).

Projektion und Konstruktion der Symphyse und des Schambogens auf Γ_β.

In der Medianebene steht die Ordinate y_β zur Horizontalen unter $37\frac{1}{2}^\circ$ Neigung. O_β kommt unterhalb y_1, also nach $(-\Gamma_1)$ zu liegen. Die Abszissen $\pm x_\beta$ gehen seitwärts und auf ihnen ruht der Tiefstpunkt der Tuberositas ischii, während die Punkte $\boldsymbol{L'}$ und $\boldsymbol{L}$ am Ramus ascendens ossis pubis mit der Spurlinie auf Γ_3 ($L'L$) höher zu liegen kommen.

Die Ordinatenwerte lassen sich auf Γ_1 ablesen, und zwar messen auf der doppelt vergrößerten Zeichnung: $O_\beta C' = 12{,}25$ cm, $O_\beta \boldsymbol{A} = 6{,}25$ cm, $\boldsymbol{A}L' = 3{,}15$ cm.

Durch direkte Messung am Becken hatten wir erhalten als Distanz der Schambeinäste zwischen L' und L

$$L'L = 2{,}25 \text{ cm}.$$

Die Distanz der Tuberositas-Spitzen am Tuber ischii voneinander beträgt am Becken gemessen 12 cm (s. auch Γ_s). Etwelche Schwierigkeit macht auf Γ_β die Fixierung des Durchganges der Stützachse $O_1 - K_1$ durch die Symphyse deswegen, weil diese Linie nicht senkrecht zur Projektionsebene Γ_β verläuft und sich diese auch nicht mit der Vorderfläche der Symphyse deckt. Statt eines Durchschnittspunktes der Achse erhält man also eine Durchschnittslinie von kurzer Länge.

Nachdem wir auf y_β und x_β die bekannten Werte aufgetragen, verbinden wir den Scheitelpunkt am Angulus pubis A mit L und verlängern diese Linie AL' bis zur Abszisse x_β.

Dadurch erhalten wir zwei Ordinatendreiecke, die einander ähnlich sind, da sie außer dem rechtwinklichen Ordinatenwinkel den Winkel o gemeinsam haben und $LL' \parallel x_\beta$ verläuft. Dieser Winkel ist aber die Hälfte des ganzen Schambeinwinkels, denn die Hypothenuse AL des Dreiecks ALL' tangiert den geschweiften Schambeinbogen in L.

Der genaueren trigonometrischen Berechnung steht nun nichts mehr im Wege. Es verhält sich nämlich in den beiden ähnlichen Dreiecken, wenn wir die Basis des großen Dreieckes $= x$ setzen:

$$OA : x = L'A : LL' = 3{,}15 \text{ cm} : 2{,}25 \text{ cm}.$$

$$x = \frac{6{,}25 \cdot 2{,}25}{3{,}15} \text{ cm} = \frac{14{,}0625}{3{,}15} \text{ cm} = 4{,}46 \text{ cm}.$$

Und der Winkel o, den wir als halben Schambeinwinkel betrachten müssen, wertet sich zu:

$$\operatorname{tg} o = \frac{LL'}{AL'} = \frac{2{,}25}{3{,}15} = \log 0{,}35218 - \log 0{,}498310 = \log \operatorname{tg} 9{,}853872$$

$\sphericalangle o = 35^\circ 32'$.

Der ganze Schambeinwinkel würde also betragen:

$$\underline{2o = 71^\circ},$$

also um etwas weniges mehr, als WALDEYER ihn im Maximum berechnet hatte.

Wir geben uns aber mit dieser Berechnung, so exakt sie auch scheinen mag, nicht zufrieden. Auf ein genaueres Zusehen hin lassen sich vielleicht Fehlerquellen entdecken und eliminieren.

Dabei fällt uns zunächst auf, daß sich sowohl die Basislänge der beiden genannten Dreiecke, wie auch ihre Ordinatenwerte auf y_β bis auf Bruchteile von Millimetern derart entsprechen, daß die relativen Werte des kleinen Dreiecks die genaue Hälfte des größern sind. Setzen wir also nur eine Bruchstelle hin, so ist $2 \times 2{,}2 = 4{,}4$. Damit kommt L' genau auf die Mitte von OA zu liegen*), d. h. es ist AL' statt wie angenommen $= 3{,}15$.

$$AL = \frac{OA}{2} = \frac{6{,}25}{2} = 3{,}125.$$

*) Wo die Fehlerquelle im Grunde zu suchen ist, ergibt sich am besten auf Γ_s. Sie hat ihren Grund darin, daß weder auf Γ_β, noch auf Γ_s die Fixpunkte L' und L bzw. ihre Projektionspunkte L' und L in der Ebene selber liegen. Diese Ebene wäre vielmehr als Mantel eines Zylinders zu denken, der sich dem Vorderrand der Schambeinkufen und Schambeinäste in seiner Wölbung anschließt. Nur bei allseitig vollkommen gleichem Radius der Mantelfläche aber sind die Ordinatenwerte relativ richtig; im andern Falle treten analoge Verhältnisse auf wie bei einem unregelmäßigen Astigmatismus.

Durch die minimale Verkürzung von LL' wird auch der $\sphericalangle o$ um etwas kleiner. Er berechnet sich nunmehr wie folgt:

$$\sphericalangle o = \frac{LL'}{AL'} = \frac{2{,}2}{3{,}125} \quad \begin{array}{l} = \log\ 0{,}342422 \\ -\log\ 0{,}494850 \\ \log \operatorname{tg}\ 9{,}847572 = 35^\circ\, 9'\, 20''. \end{array}$$

Der Schamwinkel ist also: $2 \sphericalangle o = 70^\circ\, 18'\, 40''$.

Die vorgenommene Berichtigung ist konstruktionell von Wert. Wir dürfen danach sagen, daß die beiden symmetrischen Fixpunkte $\boldsymbol{LL'}$ genau in der Mitte zwischen Schambogenscheitel und den scharf markierten Endpunkten am Sitzbeinknorren zu suchen sind. Diese Fixpunkte hatten wir eingangs unserer Arbeit bei der Orientierung des Beckenskelettes empirisch festgestellt, indem wir zunächst die Vertikalebene durch $\boldsymbol{G'G}$ und $\boldsymbol{C'C}$ bestimmten und sodann durch den Tiefstpunkt der Beckenform die Horizontalebene legten. Man erinnert sich, daß H. MEYER für diese ungefähr richtige Orientierung als Tiefstpunkt auf der Grundebene das Tuber ischii selber bezeichnet hat, während wir irgendwie zwei beliebig symmetrisch gelegene Punkte $L'L$ am Kufenrand dem Schambeine als Abzissen-
B. S. 42. punkte annahmen. Nach obigem Satz dürfen wir nun sagen: **auf der horizontalen Abzissenebene ruht das Becken mit der Mitte des Kufenrandes seiner Schambeine, also genau so, wie ein Schaukelpferd, das in Ruhe im statischen Gleichgewicht sich befindet, gleichgültig welcher Kufenpunkt durch die wechselnde Belastung zum statischen Stützpunkt wird.**

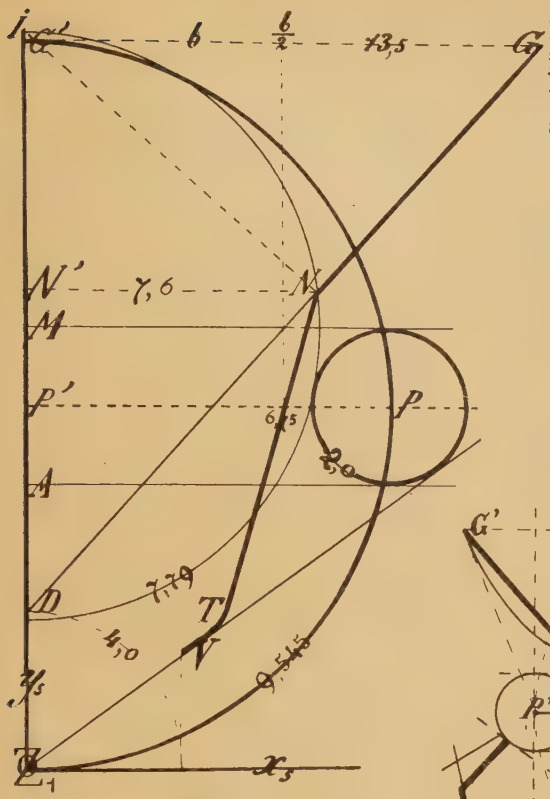
Indem wir die bildlichen Darstellungen des Schambogens und seiner kufenartig gebauten Pfeiler, der Sitz- und Schambeine auf eine eigene Projektionsebene (Γ_β), deren Lage von Γ_s nur um einige Winkelgrade abweicht, noch zu den Untersuchnungen der letztgenannten Richtungsebene hinzurechnen, kehren wir nach kurzem Exkurs zu dieser Hauptebene zurück.

Auf Γ_s repräsentiert sich ganz besonders schön die

b) Gestaltung des Innenraums der Beckenform (s. Tafel V).

Dieser Innenraum wird bekanntlich in zwei Abschnitte geteilt, die sich scharf voneinander abheben und die man mit den Namen „großes und kleines Becken" bezeichnet. Die Trennungsebene der beiden Raumabschnitte verläuft durch die etwas geschweifte Bogenlinie der Linea arcuata interna vom Promontoriumspunkt H^k bis zum obern Symphysenrand, wo sie sich als Pecten pubis nach außen schlägt, indem sie sich beiderseits ans Tuberculum pubis ansetzt. Dieser letztgenannte Umstand findet seine Erklärung im Stauchungsprozeß des Beckenringes (s. oben: Konstruktion des Lendenknicks). Genetisch entspricht also die Linea innominata oder arcuata interna genau dem vordern Rande des Beckenringes (Fig. 39) — BR'. Der vor dieser Eingangsebene zum Becken liegende Raum der Fossa iliaca ist ebenfalls durch Abbiegung der Darmbeinschaufeln infolge Stauchung an der Zentralkugel entstanden; seine seitlichen Grenzlinien auf der Richtungsebene Γ_s sind geschweift und verlaufen von der Spina anterior ossis ilei nach jenem Punkte der Linea arcuata interna, wo sich diese als Pecten pubis nach Außen umschlägt.

Auf Γ_s bedeutet dieser Punkt den Schnittpunkt N der Verbindungsgeraden DG mit dem M-Kreis; DG ist zugleich Tangente am U_2-Kreis. Das Lot, im Punkte N errichtet (Fig. 76), geht durch den Fixpunkt I am obern Rand des fünften Lendenwirbelkörpers (s. Tafel V). Die Tangente an dem M-Kreis geht (nicht mathematisch genau) oben durch I und unten durch D. Damit ist die Konstruktion von Γ_s erleichtert und gegeben, sobald die Lage des



Figur 76.
Die Gestaltung des Becken-Innenraumes auf Γ_s.

Auf y_s:

$(OG)_s = (Z_1 G_1) = 2R_p = 19{,}09$ cm.
$(ON)_s = 12{,}5$ cm.

OD Innenrand am Tuber ischii 3,7.

Auf x_s: $G'G = 13{,}5 = g$
$NN' = 7{,}6 = n$
D_1T Innenrand Tuber ischii $= 5{,}0 = t$

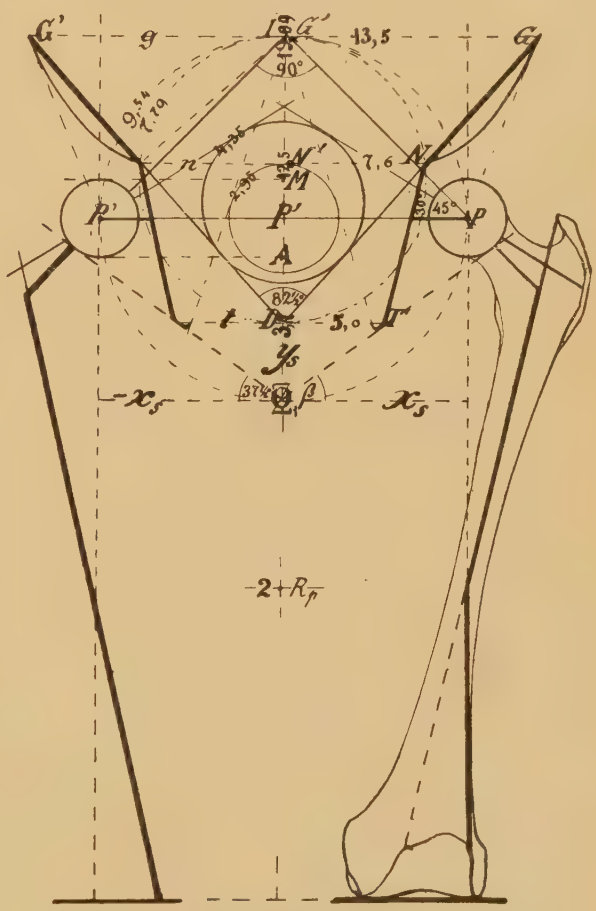
Bemerkenswert ist dabei, daß entspricht:

$(ON')_s = 12{,}5\,\text{cm} = R_p + u_1$
$= 9{,}545\,\text{cm} + 2{,}95\,\text{cm}$
$= 12{,}495$ cm.

Die Abszisse n tangiert also oben den kleinen Blasenkreis U_1, dessen Zentrum U_{1s} mit P_s zusammenfällt.

Es mag hier nun auch der richtige Ort sein, genauere Kreismittelpunktes M außerhalb der Projektionsebene festgestellt ist. Das Verhältnis von $R_m : R_p$ ist ja konstant (k); wir brauchen also gegebenen Falles nur die Differenz der beiden Kreisradien zu kennen.

Auf Γ_s wird also der Kreis der Femurkopfkugel oben tangiert von der Spur einer dazu senkrecht stehenden Ebene, welche durch das Kreiszentrum M geht, während die Peripherie dieses r_f-Kreises unten von der Spurlinie einer Ebene berührt wird, die durch den Schambeinscheitelpunkt A verläuft. Für die Berechnung des Innenkonus der Form kommen also folgende Zahlen in Anwendung:

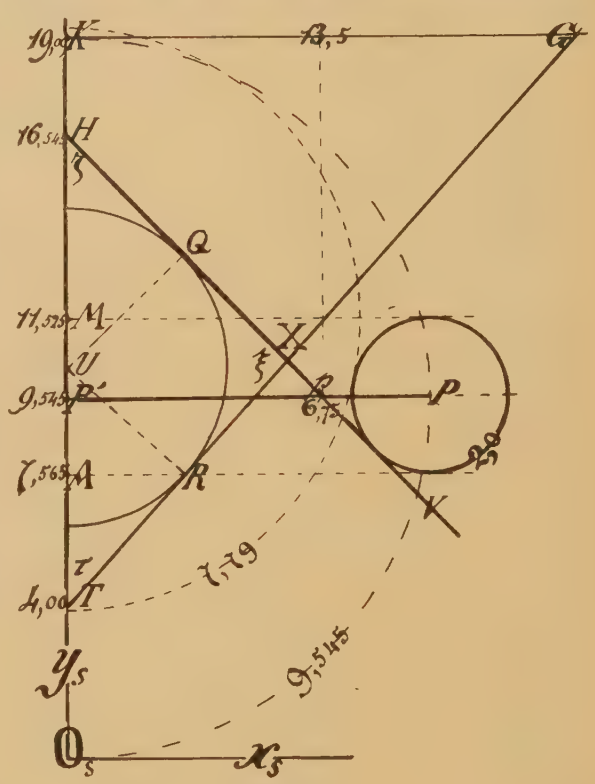


Figur 77.
Die Projektionsebene Γ_s der Hauptachse, um 45° um die Drehachse $P'P$ gedreht.

c) Berechnung der Blasenkugel

anzustellen, da die Darstellung auf Γ_s als Längsschnitt durch das Becken besonders hierzu geeignet erscheint.

Was wir bei der Rekonstruktion der Form auf den früheren Projektionsebenen unter den Minimal- und Maximalkreis der Blasenkugel, unter U_1 und U_2 verstehen, ist bereits früher erörtert worden. Es sind die Grenzwerte, unter denen bei ihrem verschiedenen Füllungsgrad die elastische Blasenwand im Ausgleich mit der innern und äußern Belastung noch Kugelgestalt annehmen kann; unterhalb des Minimums U_1 fällt sie tellerförmig zusammen, über U_2 hinausgedehnt geht die Kugelform in die Eiform über, indem die Spitze (apex vesicae) aus dem Beckenring heraus in die Bauchhöhle tritt. Experimentelle Untersuchungen über diese Formveränderung lassen sich an Leichen wohl ausführen, müssen aber unmittelbar nach erfolgtem Exitus lethalis erfolgen, d. h. zu einer Zeit, wo die Elastizität der Blasenwand noch völlig erhalten ist, also vor Eintritt der Totenstarre.



Figur 78.
Die Innentangente HXV.

Ich hatte seinerzeit bei der Konstruktion der Γ_1-Ebene als Lage der Zentren für die Minimal- und Maximalkugel der Urinblase nach eigener Wahl prävalierte Punkte auf der Halbierungslinie („Steiglinie") des Beckenbogenwinkels BAD angenommen, und danach die Radien u_1 und u_2 stets zu 2,95 bzw. 4,35 cm eingesetzt. Wie leicht verständlich hat sich sodann in den folgenden Konstruktionen gezeigt, daß der Minimakreis U_1 für den Aufbau der Form ohne Bedeutung ist, um so mehr aber, wie wir vermutet hatten, die Maximakugel U_2. Es mag daher genügen, ihren Radius u_2 hier einer genauern Berechnung zu unterziehen, die dadurch ermöglicht wird, daß wir an unserer Beckenform nicht nur ein festes Grundmaß $b = 13{,}5$ cm, sondern auch das Verhältnis dreier Kreishalbmesser R_p, R_m und R_f zueinander kennen.

Aus der Konstruktion Γ_s geht nun hervor, daß der U_2-Kreis tangiert wird einerseits von einer Innentangente HV, die von H_1 ausgehend auch den Femurkreis berührt. Anderseits ruht der U_2-Kreis auf einer andern Linie TG, die vom untern Schnittpunkt des M-Kreises auf der Ordinatenachse y_s ausgehend die Linea arcuata berührt und nach dem Spinapunkt G hin verläuft.

Wir fassen diesen Punkt T auf Γ_1 da, wo der M-Kreis die Richtachse schneidet. Auf Γ_s überragt der M-Kreis oben den Schnittpunkt K, wie unten T etwas, weil das Kreiszentrum M außerhalb der Projektionsebene liegt, während das Zentrum P auf der $S-S$-Achse liegend in die Projektionsebene Γ_s selber gelangt.

Nach der Konstruktion schneidet (Fig. 78) die Innentangente HV die Drehachse $P—P'$ gerade an der Innenwand des kleinen Beckens. Wir haben den innern Abschnitt der Drehachse $P'p$, der durch diesen Schnittpunkt p markiert wird, am Becken selber zu 6,75 cm gemessen (13,5 cm doppelseitig); er entspricht also genau wieder der Beckenbasis $b = P'p$. Die Distanz H auf der Richtachse $S—S = y_s$ von P ist = 7,0 cm. Die Kote dieses Fixpunktes H auf y_s ist also:

$$H_{ls} = 9{,}545 + 7{,}0 = 16{,}545 = OH_1.$$

Die Abszissenkote $G'' = 13{,}5$ cm $= b$.

HV tangiert den R_f-Kreis wie den U_2-Kreis als Innentangente.

Es läßt sich nun, da wir beide Kathetenlängen GK und TK kennen, im Dreieck TGK (Figur 78) der Winkel bei $T = \tau$ berechnen. Es ist nämlich

$$GK = 13{,}5 \text{ cm} = b$$
$$TK = OK - OT = 19{,}09 - 4{,}0 = 15{,}09 \text{ cm}.$$

Somit
$$\operatorname{tg} \angle \tau = \frac{13{,}5}{15{,}09} = \log 1{,}13033 - \log 1{,}17868$$
$$= \log \operatorname{tg} 9{,}95165 = 41^\circ 49'$$
$$= 41^\circ 49'$$

Dieser $\sphericalangle \tau$ gilt nun auch für das Dreieck THX, das durch die Ordinatenabschnitte TH_1 und die beiden Geraden TG und HX gebildet wird, von denen wir behauptet haben, daß sie den U_2 tangieren. Der andere $\sphericalangle \zeta$ in diesem Dreieck THX berechnet sich aus Dreieck $P'pH$, denn es ist:

$$P'H = 16{,}545 - 9{,}545 = 7{,}00 \text{ cm}$$
$$P'p = 6{,}75 \text{ cm}.$$

Also
$$\operatorname{tg} \sphericalangle P'Hp = \sphericalangle \zeta = \frac{6{,}75}{7{,}0} = \log 0{,}82930 - \log 0{,}84509$$
$$\log \operatorname{tg} 9{,}98421 = 43^\circ 57'$$

$\sphericalangle \zeta = 43^\circ 57'$, somit der dritte Winkel im Dreieck THX;

$\sphericalangle \xi = (180^\circ - 85^\circ 16') = 94^\circ 74'$.

Aus der Kenntnis dieses Dreieckes THX läßt sich nun die Tangentenkonstruktion des U_2 kontrollieren, indem wir den $\sphericalangle \xi$ halbieren. Der Schnittpunkt U dieser Halbierungsgeraden auf der gegenüberliegenden Dreieckseite $TH — y_s$ wird zum Zentrum eines Halbkreises, der HX und XT tangiert. Da die Halbierende eines Dreieckswinkels die Gegenseite im Verhältnis der andern Seiten teilt, ist:

$$\boldsymbol{HU} = \frac{HT \cdot HX}{TX + HX} = \mathbf{6{,}146}$$

und
$$TU = \frac{HT \cdot TX}{TX + HX} = \mathbf{6{,}399}$$

oder TH
$$12{,}545 = 16{,}545 - 4{,}0$$
$$TX = 8{,}732$$
$$HX = 8{,}389$$
$$TX + HX = 17{,}121$$

Die Ordinatenkote von U_2 auf y_s beträgt somit nach genauer trigonometrischer Berechnung:

$$\boldsymbol{U_{2s}} = OT + TU = 4{,}0 + 6{,}399 = 10{,}399 \doteq \mathbf{10{,}4 \text{ cm}},$$

womit sich unsere Konstruktion auf Tafel V deckt.

Danach läßt sich nun auch der Radius u_2 der Blasenmaximakugel noch viel genauer berechnen als wir früher imstande waren, wo uns weniger exakte Winkelgrößen zu Gebote standen, und wo wir diesen Radius etwas zu groß, nämlich = 4,35 cm angenommen und zur Konstruktion verwendet hatten. Trotzdem ist die Differenz auch für die Zeichnung im Maßstabe 2 : 1 ohne Belang. Wir dürfen diese Zeichnungen inskünftig auch ohne mathematische Bedenken verwerten.

Es berechnet sich trigonometrisch der Blasenradius $u_2 = u$ wie folgt:

$$u = HU \cdot \sin \zeta = TU \sin \tau$$

$HU = \log\ 0{,}7886$	$TU = \log\ 0{,}8061$
$\sin \zeta = \log\ 9{,}8414$	$\sin \tau = \log\ 9{,}8240$
$\log\ 0{,}6300$	$\log\ 0{,}6301$

$$u_2 = 4{,}267.$$

Auch die Tangentenabschnitte $TR - RX$ und $HQ - QX$ sind nun zu eruieren.

Es ist
$$HQ = HU \cdot \cos.\ \zeta = 4{,}424$$
$$TR = TU \cdot \cos.\ \tau = 4{,}769$$

Probe:

$HX = 8{,}389$	$TX = 8{,}732$
$-HQ = 4{,}425$	$-TR = 4{,}769$
$QX = 3{,}964$	$3{,}963$

7. Die Darstellungsebene der Stütz- und Drehachse.

Projektion und Konstruktion Γ_t. (Hierzu Tafel VI.)

Orientierung. Die neue Ebene nenne ich die „Stützebene". Ihre Richtung wird normiert durch die Stützachse (OK) auf Γ_1. Sie steht also senkrecht zur Richtungsebene Γ_s, wie zur Medianebene Γ_1 und hat nach unserer Orientierungsmethode als Koordinaten einmal $(OK)_1$ als Spur mit der Medianebene Γ_1 (Ordinate y_t), sodann als Abszisse $x_t = x_2$), d. h. die seitliche Achse x_2 der Frontalebene. Es sind also $x_t = (OK)_1$ und $x_t = x_2$.

Am Becken selber ist die neue Schnittebene Γ_t gegeben durch die Fixpunkte K, P' und P, d. h. durch den Scheitelpunkt am Hiatus canalis sacralis einerseits und die beiden Zentren der Femurköpfe anderseits. Nullpunkt ist der O-Punkt unseres Orientierungssystems. Die Γ_t-Ebene steht zur Horizontalen Γ_3 wie zur Vertikalen Γ_2 unter dem Winkel von 45° geneigt.

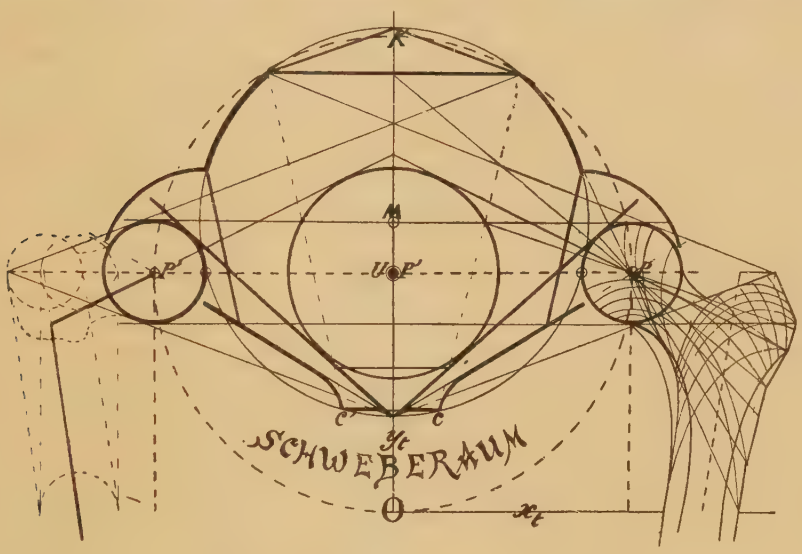
Während die zuletzt besprochene Darstellung auf der Richtungsebene Γ_s den Längsschnitt durch den Beckenring zum Ausdruck brachte, bietet die neue Projektionsebene Γ_t den senkrecht dazu verlaufenden „Querschnitt" dar und gibt uns in besonders schöner Weise Aufschluß über die statischen Beziehungen zwischen dem getragenen Beckenring bzw. der ganzen dadurch gestützten Rumpfform und ihrem Stützapparat, den untern Extremitäten.

Projektion und Konstruktion. Als Mittelpunkt der Ordinate OK gilt der Achsenkreuzpunkt P. Wir ziehen die Querachse $P'P$, sowie die Kreisperipherie mit dem bekannten Radius $R_p = 9{,}545$ (Fig. 79). Die Abszissenachse x_t tangiert im O-Punkt diesen Kreis. In P' und P erstehen die Projektionskreise der Femorakugeln mit dem Durchmesser $r_f = 2{,}0$ cm.

Die bekannten Fix- und Konstruktionspunkte auf $(OK)_1$ werden der Reihe nach abgetragen (Tafel II). Andere wichtige Punkte, die nicht auf OK selber, sondern außerhalb der Projektionsebene T_t liegen, werden wieder durch das Lot in ihrer relativen Lage bestimmt.

So fällt M in die obere Tangente der Femurkreise, U_2 in den Achsenmittelpunkt P selber. Die übrigen Punkte der Darstellungsebene werden in ihrer gegenseitigen Lage am Becken mit dem Zirkel bestimmt. Nach Ziehen des M-Kreises ($R_m = 7{,}79$), der die Peripherie des P-Kreises analog P_s bei K überragt, erhält man neuerdings die Gewißheit, wie sehr die Formbildung des knöchernen Beckens vom M-Zentrum aus regiert wird. Wir machen diese Bemerkung, obgleich wir sagen müssen, daß gerade in dieser Darstellungsebene sehr wenig formbildendes Material zur Verwendung kommt.

Zwischen O und C', also zwischen dem Null- bzw. dem Stützpunkt unseres Systems und dem vordern (untern) Symphysenrand C', bleibt auf T_t ein großer freier Raum, den



Figur 79.

Die Konstruktion der männlichen Beckenform auf die Ebene (Γ_t) der Stützachse OK zeigt auf diesem Querschnitt des Beckenrings in schönster Weise den Kipptypus der Form.

ich als „Schweberaum" bezeichnen möchte. Das Schwergewicht der Zeichnung liegt entschieden über der queren Dreh- oder Balancierachse $P'P$. Man erhält damit eine Figur, die auf den ersten Blick viel Ähnlichkeit zeigt mit dem Mechanismus eines „Buddels" im Hochofen oder einer Bessemer Stahlbirne, die zum leichten Kippen eingerichtet ist, indem an einer runden Form beiderseits starke Nasen befestigt sind, die auf Drehköpfen ruhen und das Ganze im labilen Gleichgewichte halten. (Fig. 79.)

Auf zwei Punkte, die für die Konstruktion von Bedeutung sind, ist hier aufmerksam zu machen.

Erstens hat uns schon auf Γ_s das Innenmaß auf der Querachse überrascht, das 13,5 cm beträgt und daher mit dem Grundmaß b unserer Beckenform genau übereinstimmt. Unserer Gewohnheit entsprechend findet man hier nur die Hälfte dieses Innenmaßes der Querachse von der Ordinate y_t abgerechnet und mit 6,75 cm eingetragen.

Zweitens läßt sich auch hier wieder *eine Innentangente* konstruieren. Sie hat ihre **B.S. 43.** *Stützen im* Ordinatenpunkt C auf der Peripherie des M-Kreises und wird innen berührt *vom U_2-Kreis* ($u_2 = 4{,}35$), während von außen der Femurkreis auf diese Linie drückt. Ich lege auf die Konstatierung dieser Tatsache ein besonderes Gewicht, da sie mir beredten

Aufschluß zu geben scheint über die Wechselwirkungen der maßgebenden Faktoren beim Zustandekommen der Beckenform.

Aus der Darstellung der Form und ihrer Rekonstruktion auf Γ_t läßt sich noch weit mehr, als dies schon in ihrer Seitenansicht (Γ_1) der Fall war, auf die Provenienz und die Bedeutung der beiden typischen Kreise von M und P schließen. Wenn auch der Schnitt, der in der Stützebene geführt wird, von unsern dreizehn Beckenfixpunkten nur drei an der Zahl berührt, nämlich $\boldsymbol{K}$ und $\boldsymbol{P'P}$, so liegt doch die Grundform dieses Beckenschnittes, vor allem die Ligamenta des Foramen ischiadicum bei dieser Darstellung auf der Peripherie des M-Kreises. Er hat also ausgesprochen formbildenden Charakter, wie wir dies schon bei den Untersuchungen auf Γ_1 konstatiert haben. Der P-Kreis dagegen, der auf Γ_t auf seiner Peripherie nur den O-Punkt unseres Ordinatensystems und außerdem die Endpunkte der Drehachse $\boldsymbol{PP'}$ trägt, also die Stützpunkte der ganzen Rumpfform, — er entspricht in seiner mechanischen Funktion dem statischen Faktor. Wir haben ihm daher früher schon das Attribut „formerhaltend" zugeteilt.

Da die Darstellung auf Γ_t im Gegensatz zur Längsschnittkonstruktion auf Γ_s, den Schwebecharakter der Statik besonders schön hervorhebt, so wollen wir an dieser Stelle zum erstenmal der

8. *Schenkelstellung zum männlichen Becken in der Ruhelage* (Hierzu Tafel VII)

gedenken.

Diese Ausdrucksweise wird man mir verzeihen, nachdem ich schon zu wiederholten Malen darauf hingewiesen habe, daß man bei der Orientierung der Körperform in erster Linie von der Stellung und Lage der Rumpfform auszugehen und die Schenkelstellung als sekundäres, konsekutives Moment anzusehen hat.

Bei der Lösung des phylogenetischen Problems, den „spindelförmigen Ballon halbstarren Systems" (H. STRASSER) des Rumpfes, welcher zuvor auf zwei Stelzenpaaren ruhte, so aufzurichten, daß er nur noch in balancierender Stellung von einem Stelzenpaare unterstützt erscheint, kommt es in erster Linie darauf an, für diesen einzigen Stützapparat die geeignete Befestigungsweise zu suchen.

Dabei ist auf einige Punkte Rücksicht zu nehmen, die meines Erachtens bis jetzt zu wenig Beachtung gefunden.

Wir denken uns die Ballonform nach Art des bekannten militärischen Fesselballons bohnen- oder nierenförmig mit gebrochener Achse und seine Wandung wie gewöhnlich zunächst ohne die Versteifung des Lenkballons.

Es genügt nun aber nicht, bloß das Konstruktionsprinzip dieser Ballonwand zu kennen. Im vorliegenden Falle ist nämlich die Form nicht nur mit Luft, sondern zum Teil auch mit beweglichem festem und flüssigem Inhalte gefüllt („innere Außenwelt", Contenta), der sich bei Stellungs- und Lagewechsel verschiebt und so die Wandung verschiedenartig belastet, im einen Falle lokal günstiger, im andern ungünstiger, je nach Beschaffenheit des Wandmaterials und der Beweglichkeit des innern Belastungsmaterials.

Als die geeignetste Befestigungsweise des einzigen Stützapparates hat die Natur die Einfügung der Oberschenkel in einen Versteifungsring, den Beckenring, gefunden. Die Schenkelanheftung geschieht symmetrisch, so daß die Verbindungsachse, welche die beiden Stützpunkte $\boldsymbol{P'}$ und $\boldsymbol{P}$, die Schenkelköpfe miteinander verbindet, senkrecht auf der Symmetrieebene der Form steht. Auf dieser Querachse oder Drehachse des Rumpfes pendelt dieser letztere im labilen Gleichgewichte hin und her: denn sein

Schwerpunkt liegt ohne Zweifel oberhalb der Balancierachse $P'-P$ (Fig. 79), da ja das Eigengewicht der Beine nicht mitzurechnen ist. Die Ebene, die wir vertikal durch die quere Drehachse legen, nenne ich die „Balancierebene".

Die Frage, wie man sich „die Lage des Gesamtschwerpunktes des Körpers zu dessen Drehachse", bzw. zu unserer Balancierebene zu denken habe und was „normale Stellung des menschlichen Rumpfes" sei, hat den Statikern viel Kopfzerbrechens gemacht. Die verschiedenen ältern Auffassungen finden sich in H. STRASSERs neuem Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik zusammengestellt. Wir dürfen sie übergehen und dies um so mehr, als wir hier zunächst nur die morphologische Verbindung des Oberschenkels mit dem Beckenring betrachten wollen, soweit diese Frage die Kausalanalyse der Beckenform berührt. Vielleicht bietet sich später nach der Untersuchung der weiblichen Form nochmals Gelegenheit, das Problem der Statik des menschlichen Körpers vergleichend und im Zusammenhange zu lösen.

Auch gehen wir bekanntlich von neuen Auffassungen aus und wenn auch die Frage nach der Lokalisation des Gesamtschwerpunktes nicht ganz zu umgehen ist, so muß sie doch wesentlich modifiziert werden. Wir stellen dabei aber zunächst die Lagebestimmung der Körperachsen und Achsenebenen in den Vordergrund.

Als Endpunkt der Drehachse beiderseits ist, wie schon aus den Längenproportionen auf unsern Projektionsebenen deutlich genug hervorgeht, das Zentrum des Femurkopfes zu betrachten. Dieser mathematische Punkt ist mechanistisch zu einer Kugel von rund 4 cm Durchmesser angeschwollen, die zum Teil in die Wandung des Beckenringes (Hüftpfanne) eingelassen ist. Das äußerste Stück der Drehachse, in der Länge des Halbmessers dieses Schenkelkopfes, gehört somit anatomisch bereits dem Oberschenkel zu, während es mechanistisch und konstruktionell noch dem Beckenring, also der Rumpfwand angehört. Ähnliche gemischte Verhältnisse haben wir übrigens auch in der Verbindung der Wirbelsäule mit dem Becken, im untersten Lendenwirbel kennen gelernt, der anatomisch wohl zur Wirbelsäule, konstruktionell im wesentlichen aber zum Beckenring gehört (Lendenknick). Es ist daraus neuerdings die Lehre zu ziehen, daß allzu starke Zergliederung des Körpers nach Systemen (Knochen, Muskel, Bänder usw.) nur allzuleicht auf Abwege führt.

Nehmen wir aber trotzdem einen einzelnen Oberschenkelknochen zur Hand, so sind an seiner Form, abgesehen von dem oben erwähnten Endstück der Drehachse am Kopf, zwei weitere Achsen zu unterscheiden, nämlich 1. die Schenkelhalsachse und 2. die Schaftachse. Der Winkel, unter welchem die Achse des Kopfes und Halses gegen die Achse des Mittelstückes steht, ist ein sehr verschiedener; im allgemeinen ist er bei weiblichen Individuen kleiner, (d. h. mehr einem rechten ähnlich) als beim männlichen, wo er stumpfer ist (H. v. MEYER).

Zudem ist es sehr schwer, am einzelnen Knochen diese Achsenwinkel zu bestimmen, und wir könnten leicht an ein und demselben Knochenexemplar zu verschiedenen Resultaten gelangen, je nachdem wir den Winkel vorn oder hinten messen; denn die Konturen des Halses vorn und hinten sind nicht die nämlichen. Zudem ist der Schnittpunkt des Winkels nicht scharf markiert und die Symmetrieebene, die wir durch die Richtachse des Femurhalses legen, fällt keineswegs zusammen mit derjenigen des Schaftes.

Ich habe daher wiederum einen von der gebräuchlichen anthropometrischen Methode abweichenden Weg betreten, der mir näher und sicherer zum Ziele zu führen schien.

Dabei suche ich am Bänderbecken wieder die genaue Lagerelation des Femurs zum Beckenring bzw. zu unsern Beckenfixpunkten und Beckenachsen klarzustellen. Die

Beckenform ist ja durch unsere Orientierungsweise für die aufrechte Körperstellung sicher, also gewissermaßen unbeweglich fixiert und damit auch der Oberschenkel, der in einer gewissen Gleichgewichtsstellung („Ruhelage") durch seinen Bandapparat damit in Zusammenhang steht. Auch besitzen wir jetzt nicht nur eine ganze Anzahl, sowohl in ihrer gegenseitigen, wie in der absoluten Lage gut bestimmter Fixpunkte an unserem Becken selber und zudem haben wir für dasselbe durch die Konstruktion sichere Kreise, Achsen und Linien gewonnen, die zum Teil selbst über die Beckenform hinaus reichen und Ordinaten ähnliche Anhaltspunkte bieten können. Darnach suchen wir auch die relative Ruhelage der Oberschenkel zur Wirbelsäule festzustellen.

Die Lage des Schenkelkopfes ist mit der Drehachse auf den frühern Projektionsebenen bereits genau bestimmt; der Einfachheit halber ist dabei der Kopf stets als vollständige Kugel gezeichnet, obschon tatsächlich eine solche ideelle Kugel an keinem Skelette existiert. Ich habe es getan um zu zeigen, daß der Mechanismus theoretisch die Drehung der Kugel im Kugellager zuläßt, ohne daß die Stellung der Drehachse verändert wird. So haben wir auch bereits auf Γ_s und Γ_t wenigstens den einen Oberschenkel mit der Kugel in der Darstellung gedreht, bis sein Schaft in die Darstellungsebene (rechts *r*) oder senkrecht dazu (links *l*) zu stehen kam, ebenso die Γ_s-Ebene in Fig. 77.

Unsere weitere Aufgabe wäre es nun, die erwähnte Gleichgewichtsstellung des Oberschenkels zu suchen, deren Ebene mit keiner der von uns bis anhin benützten Ebenen zusammenfällt oder identisch ist. Auch dieser Punkt muß hier vermerkt werden.

Wir kehren zur seitlichen Projektion (Γ_1) zurück, indem wir in Tafel VII nochmals die äußere Form mehr zur Darstellung bringen. Dabei skizieren wir zunächst wieder die an der vertikalen Pubospinal-Ebene als stabil gedachte Beckenform mit ihren hauptsächlichsten Hilfslinien und projizieren darauf orthogonal Schenkelhals, Trochanter und Femurschaft. Wir erhalten dabei wiederum einen ganz überraschenden Befund.

1. Die Schenkelhalsachse, die vom Drehachsenpunkt *P* aus etwas nach hinten unten verläuft, trifft die Schaftachse genau über dem Beckenfixpunkt ***L***, dem auf der Horizontalebene aufruhenden Punkte der Schambeinkufe.

Für den Projektionspunkt *L* haben wir bis jetzt verhältnismäßig d. h. im Vergleich zu den übrigen Projektionspunkten, nur sehr wenig Relationen gefunden. Er gehört, gleich wie H_k, H_t, *I* und *J* strenggenommen nicht zum mathematischen System. Wir wissen von ihm nur, daß dieser Abszissenpunkt in der Verlängerung der Symphysenlinie *CA* liegt. Da seine Abszissenkote 7,3 cm beträgt, liegt er 0,58 cm hinter der vertikalen Balancierebene auf der Beckenbasis. Verbinde ich in der Zeichnung *L* mit dem Drehpunkte *P*, so entspricht diese Linie der Spur der Schenkelhalsebene und das Überraschende dabei ist, daß ihre Verlängerung nach oben in den Projektionspunkt H_k fällt, der, indem er auf der obern Seite *GK* des Beckenquadrates aufsitzt, genau soviel vor der vertikalen Balancierebene liegen muß,
B.S. 44. wie *L* auf der untern Quadratseite hinter derselben. Mit andern Worten: **Kufenfußpunkt *L* und Rafenstützpunkt *H* liegen am männlichen Becken in der Schenkelhalsebene;** oder umgekehrt: **in der Gleichgewichtsstellung des Oberschenkels geht die Schenkelhalsebene durch den Fußpunkt (*L*) und den Rafenpunkt (Promontoriumspunkt H_k) der männlichen Beckenform.** Die Schenkelhalsebene hat in unserem speziellen Falle eine Neigung zur Balancierebene von $0{,}58 - 6{,}75 \cdot \operatorname{tang} x$; $x = \text{rund } 5°$.

2. Ich verlängere die Schaftachse über die Beckenbasis nach oben. Sie tangiert den Kreis des Schenkelkopfes und zielt nach dem Fixpunkte *J* am Processus spinosus des letzten Lendenwirbels hin, den wir als Hypomochlion bei der Entstehung des Lendenknicks kennen gelernt haben.

Die Schaftebene des in Gleichgewichtsstellung ruhenden Oberschenkels streift hinten den Femurkopf und verläuft nach dem Stützpunkt des Lendenknicks am Processus spinosus des letzten Lendenwirbels. B.S. 45.

Der Neigungswinkel, den die Schaftachse in Ruhestellung mit der Vertikalebene bildet, berechnet sich aus Tafel II und VII, nachdem konstatiert worden, daß diese Achse durch den Fixpunkt L und den Fußpunkt des P-Kreises verläuft, wie folgt:

$$OL = 7{,}3 \text{ cm}$$
$$Op' = 6{,}75 \text{ cm} \qquad q = 2{,}795 \text{ cm}$$
$$\frac{7{,}3 - 6{,}75}{2{,}795} = \text{tg des Neigungswinkels.}$$
$$x = \log \text{tg } 9{,}2968$$
$$x = 11^\circ 12'.$$

Schaft- und Halsachse bilden somit zusammen einen Winkel von $x\,5^\circ + 11^\circ 12' + 16^\circ$. Der Scheitelpunkt dieses Winkels liegt in der horizontalen Beckenebene im Fixpunkt L (Tafel II).

3. Nun bildet nach der Konstruktion des Lendenknicks wie nach der Projektionszeichnung auch die Verbindungslinie der Punkte C, H_k und J eine Gerade. Sie ist auf der medianen Symmetrieebene Γ_1 als Spur der Beckeneingangsebene zu betrachten und steht mit der Schenkelschaftebene unter einem Winkel von ca. 25°.

Damit haben nun auch die Fixpunkte $\boldsymbol{L}$, $\boldsymbol{H}$ und $\boldsymbol{J}$ am Becken ihre Relationen gefunden. Aber sie sind anderer Natur, als die übrigen Systempunkte, indem ihnen mehr statisch formerhaltende als formbildende Bedeutung zukommt.

B. Die Synthese der männlichen Beckenform.

Der Analyse einer Form hat die Synthese auf dem Fuße zu folgen, d. h. die ideelle Wiederzusammensetzung des zergliederten Gegenstandes aus seinen Elementen und Grundbestandteilen heraus. Die Synthese kontrolliert, verifiziert und vervollständigt das Ergebnis der Analyse.

Schon in der Konstruktion der Form liegt indes eine Gewähr, daß die durch unsere Formanalyse gewonnenen Resultate richtig sind; da wir uns aber mit der reinen Formanalyse nicht begnügt, sondern überall auch den Kausalmomenten nachzuforschen uns bemüht haben, so ist es angezeigt, die Synthese der Form auch in diesem Sinne — statographisch — durchzuführen, d. h. nicht rein abstrakt geometrisch, sondern unter stetiger Rücksichtnahme auch auf die Richtungslinie der Schwerkraft. Aus diesem Grunde dürfen in der synthetischen Darstellungsweise auch wieder die Bezeichnungen „oben und unten", „vorne und hinten", „rechts und links" in Anwendung kommen. Die Konstruktion der schiefen Ebene ist ohne diese Relationsbegriffe ja nicht denkbar. Im übrigen verwenden wir bei der Synthese mit Vorteil wieder dieselben Fixpunkte immer unter Bezugnahme auf ihre physikalisch-funktionelle Bedeutung des betreffenden Lagepunktes in der Körperform.

Die einfachsten Figuren der darstellenden Geometrie sind zweifelsohne: der Kreis und das Dreieck. Von diesen elementarsten Grundsteinen aus müssen wir den Aufbau der Synthese jeder Beckenform bewerkstelligen können, sobald man nur einmal ihr Konstruktionsprinzip richtig erfaßt hat.

Dabei sind die allereinfachsten Grundregeln der Geometrie wegleitend.

1. Ein Kreis ist gegeben, sobald entweder a) der Radius oder b) die Peripherie bekannt ist.
2. Ein Dreieck ist gegeben, wenn seine drei Ecken, zwei Seiten und der eingeschlossene Winkel, oder eine Seite und zwei Winkel gegeben sind. Da im rechtwinkligen Ordinatendreieck der eine Winkel bekannt ist, genügt zur Berechnung und Konstruktion des Dreiecks stets eine Seitenlinie und ein Winkel.

Wir verwenden mit Vorteil wieder dieselben Bezeichnungen der Beckenfixpunkte wie bei der Formanalyse auf Γ_1. Es wird auch genügen, die Synthese für diese wichtigste Projektionsebene durchzuführen, da die übrigen sich aus dieser ableiten lassen.

Weitere Probleme werden sich noch im Zweiten Teil der Arbeit zur Lösung herandrängen.

Enorm erleichtert wird nun die Synthese der an und für sich höchst komplizierten Beckenform durch die Entdeckung des mathematischen Systems und vor allem durch die in der Korrelation der beiden Beckenkreise zutage tretende Konstanz (φ), die von jedem Längenmaß unabhängig ist. $\varphi = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ = R : r$, d. h.: Hat man den Radius für den einen Kreis gefunden, so ist auch der zweite Kreis und damit die ganze Beckenkonstruktion gewonnen.

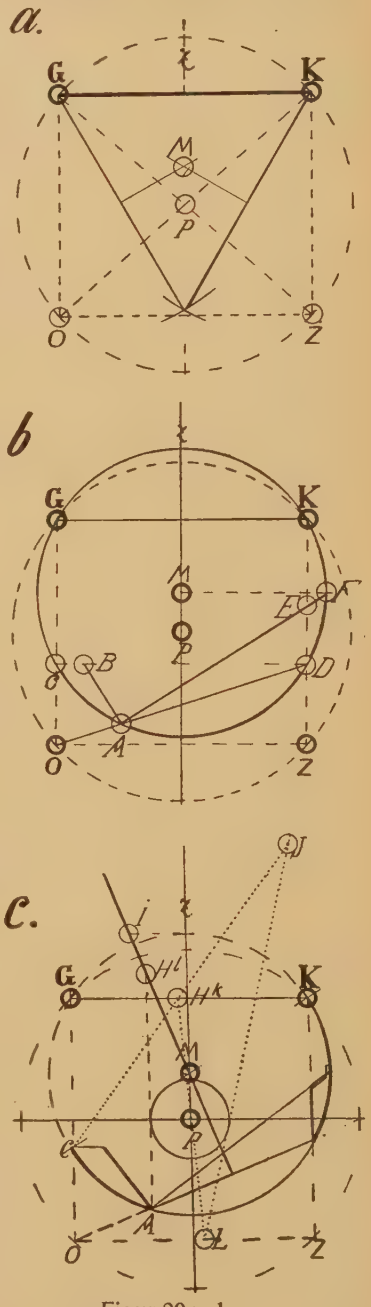
Da die meisten unserer Fixpunkte, mit Ausnahme von *H*, *B*, *L*, *I* und *J*, in der Γ_1-Projektion auf die Peripherie eines dieser Kreise zu liegen kommen, also Peripheriepunkte sind (*A*, *C*, *D*, *F*, *K*, *G*) oder doch anderweitig in Beziehung zu einem dieser Kreise gebracht werden können, wie *P*, *B*, *E*, so ist die Konstruktion der Beckenform meist schon gegeben, sobald nur zwei dieser Punkte in ihrer genauen Lagebeziehung zueinander bekannt sind. Unter den vielen Möglichkeiten der Aufgabestellung greifen wir nur die interessantesten heraus.

Am einfachsten gestaltet sich die Aufgabe, wenn die beiden Eckpunkte *G* und *K* = Seite *b* des Becken-Quadrates gegeben sind. Wir verwenden daher diesen Fall für die

Aufg. I. *Aufgabe I.*

Voraussetzung: Gegeben ist die Beckenbasis *GK* = Horizontale obere Quadratseite *b* eines vertikal orientierten Kreisviereckes (*GKOZ*). *b* sei zugleich Seite des eingeschriebenen Dreieckes in einem anderen kleinen Kreise.

Auflösung: *GK* bildet die obere Seite des Becken-Quadrates *GOZK*, und damit bei der männlichen Form die Verbindungslinie der Schnittpunkte zweier Kreise, von denen der eine mit dem diagonalen Schnittpunkte *P* als Zentrum das Quadrat umschreibt, während der andere Kreis *GK* zur obern Seite des eingeschrieben Dreieckes macht (s. Fig. 80a, b, c).



Figur 80a, b, c.

Die untern Schnittpunkte des M-Kreises mit den vertikalen Quadratseiten ergeben die Lage von C und D. A liegt auf der Verbindungslinie von D mit O auf dem M-Kreise; C–A–D–F–K–G ergibt die äußere Beckenkontur. Die Korrelation der beiden Kreise entspricht der Verhältniszahl $\varphi = 1{,}2246$; denn GK ist im P-Kreise = Quadratseite und im M-Kreise = Dreieckseite. E liegt im Schnittpunkt von AF und KZ; H_1 vertikal über A, H_k auf GK um so viel vor der Mittelvertikalen, als L auf OZ hinter derselben (LPH_k eine Gerade). J liegt auf der Verlängerung von CH_k; J wie M und H_1 auf dem Perpendikel von AD.

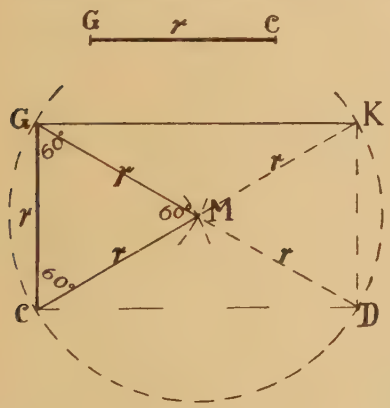
J kommt so viel vor KD zu liegen, als F hinter KD liegt und steht zugleich auf der Verlängerung von CH_k und wird fixiert im Schnittpunkt dieser Geraden mit der Tangente, welche von L aus an den Oberschenkelkopf-Kreis gelegt wird, dessen Radius gleich dem Abstand des Zentrums P von der Vertikalen AH_1 ist. Damit ist die Lage sämtlicher Fixpunkte aus GK gefunden und die Form synthetisch hergestellt mit Hilfe der durch die Analyse gewonnenen Lagekorrelationen.

Aufgabe II. **Aufg. II.**

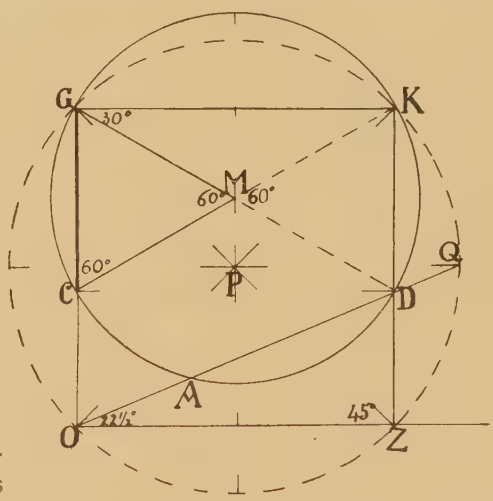
Voraussetzung: Gegeben ist $CG = r$ an der Vertikalebene.

Zu suchen: Die Lage von A, D, E, F, K usw. nach den Normen des mechanostatischen Systems (s. B.S.1 u. ff.).

Auflösung: Ich orientiere CG vertikal (Naturgesetz der Pubospinalebene) und er-



Figur 81 a.



Figur 81 b.

richte darauf das gleichseitige $\triangle GCM$, verlängere GM und CM und ziehe von M aus mit demselben Radius r die Kreisperipherie. Dann ist $\triangle KMD \cong GMC$.

Verbinde ich K mit G, so steht $KG \perp GC$, da $KD \parallel GC$ ist. GK ist Dreiecksseite im M-Kreis.

Ich verlängere ferner GC und KD und mache sie $= GK$, so wird GK zur Viereckseite mit dem Diagonalenschnittpunkt P, und ist zugleich Dreiecksseite im M-Kreis, womit die konstante Korrelation $\frac{r}{R} = \varphi$ hergestellt und die Lage aller Punkte bestimmt ist.

Aufgabe III. **Aufg. III.**

Voraussetzung **A**: Gegeben ist die Beckenbodenebene AD (Angulus pubis A — Steißbeinspitze D) $= d$ plus Neigungswinkel $\delta = 22\frac{1}{2}°$.

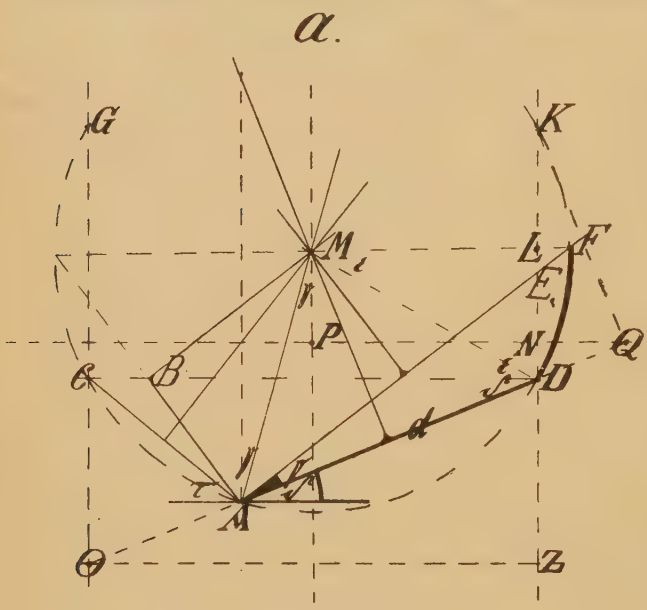
Zu suchen ist: die Lagerelation aller übrigen Beckenfixpunkte.

Auflösung: Wir legen im Punkte A das vertikal orientierte Hilfsordinatenkreuz mit den Achsen z und y. Ich halbiere den Ordinatenwinkel 90° und den untern davon (45°) nochmals und lege δ unter dem gefundenen Winkel $22\frac{1}{2}°$ an die horizontale Abszisse. Dann errichte ich auf der Mitte von AD das Perpendikel, auf dem das Zentrum des M-Kreises zu suchen ist. Die Lagebestimmung des Kreiszentrums M und die Lösung der Aufgabe überhaupt ist unter der gegebenen Voraussetzung unmöglich, da keine hexagonalen Winkelfunktionäre erhältlich sind.

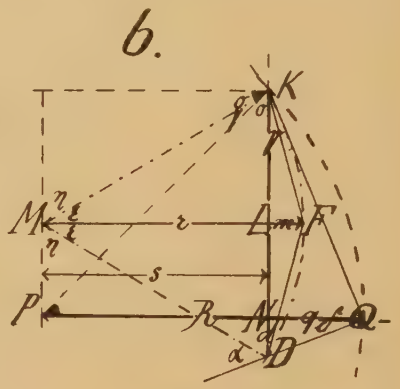
Voraussetzung **B**: Gegeben ist die Beckenbodenebene $AD = d$, plus Winkel $\gamma = 15°$ (Steißbeinwinkel) = Winkel DAF, plus Neigungswinkel $\delta = 22\frac{1}{2}°$ (Fig. 81a, b).

Zu suchen wie Aufgabe I und II.

Auflösung: Ich lege AD in A unter den Winkel δ an die horizontale Abszisse y, indem ich wieder auf der Mitte von AD das Perpendikel errichte und lege dann den Winkel γ = Winkel DAF auf AD.



Figur 82a.



Figur 82b.

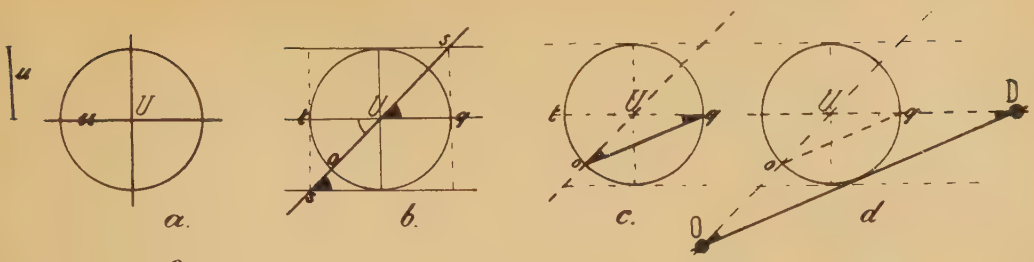
Da Winkel $\gamma = 15°$ sein soll, A, D und F aber auf der Peripherie des M-Kreises liegen müssen, so ist γ Peripheriewinkel (von 15°); der zugehörige Zentrumswinkel DMF somit $30° = \varepsilon$. FM wird parallel y gemacht. Kreiszentrum M ist gegeben auf dem Schnittpunkt von FM und Perpendikel auf AD.

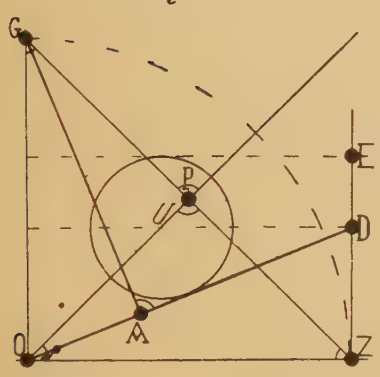
Voraussetzung **C**: Gegeben AB (innere Symphysenebene), AF (Angulus pubis—Symph. sacro-coccyg.) und der eingeschlossene Winkel $BAF = 90°$.

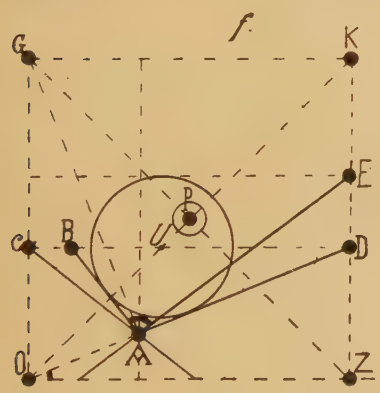
Auflösung: Da die Punkte A und F Peripheriepunkte ein und desselben Kreises sein sollen, so ruht Winkel BAF als Peripheriewinkel von 90° auf dem Durchmesser dieses Kreises. Das Zentrum M des Kreises muß daher auf dem Mittelperpendikel von AF liegen. Nach *B.S.7* geht aber auch das Perpendikel in B errichtet durch M. Ich verbinde den Schnittpunkt M der beiden Perpendikel mit F und orientiere MF horizontal. Damit ist die Lage sämtlicher Beckenpunkte auf dem M-Kreis und auch seine statische Orientierung durch den P-Kreis zu geben. P kommt senkrecht unter M zu liegen.

Aufg. IV. *Aufgabe IV.* (Hierzu Fig. 83a—f.)

Voraussetzung: Gegeben ist außer der Vertikalen z der Radius u_1 der Minimalkugel der Harnblase. Zu suchen ist die zugehörige Beckenform.







Figuren 83a—f.

Auflösung: Ich ziehe vom Zentrum U aus mit dem Radius u die Kreisperipherie und lege durch das Zentrum U das vertikal orientierte Achsenkreuz z, senkrecht t—q. Sodann halbiere ich einen der beiden untern Kreisquadranten und ziehe durch den Peripheriepunkt o den Kreisdurchmesser s—s nebst dem umschriebenen vertikal orientierten Quadrat. Verbindet man nun o mit q, so ist

$$Uoq = \angle Uqo = 22\tfrac{1}{2}^\circ = \delta.$$ (Peripheriewinkel von 45°.)

Ziehe ich parallel zu oq die Kreistangente, so steht sie ebenfalls unter dem Neigungswinkel δ. Die Schnittpunkte dieser Tangente mit der Verlängerung Uo und Uq ergeben die Lage von O und D. Indem wir nun die Horizontale und Vertikalen durch diese beiden Punkte legen, erhalten wir nacheinander Z, C, G, K, P, womit der P-Kreis und dazu der M-Kreis gegeben sind nach Aufgabe I. A finden wir sodann von G aus durch Loten auf OD, B auf CD durch die Tangente an den U-Kreis, und senkrecht dazu steht A—E—F. L liegt auf OZ in Verlängerung von CA. Der M-Kreis wird auf der Dreieckseite GK errichtet, womit der Relation $\varphi = 1{,}2246$ entsprochen ist.

Beweisführung: (s. Sätze bei der Analyse). Das Kreiszentrum U liegt auf der Halbierungsgeraden des $\angle BAD$, da AD und AB den Kreis tangieren (nach der Konstruktion „Leitlinie“ AM).

Aufgabe V. (Hierzu (Figur 84.) **Aufg. V.**

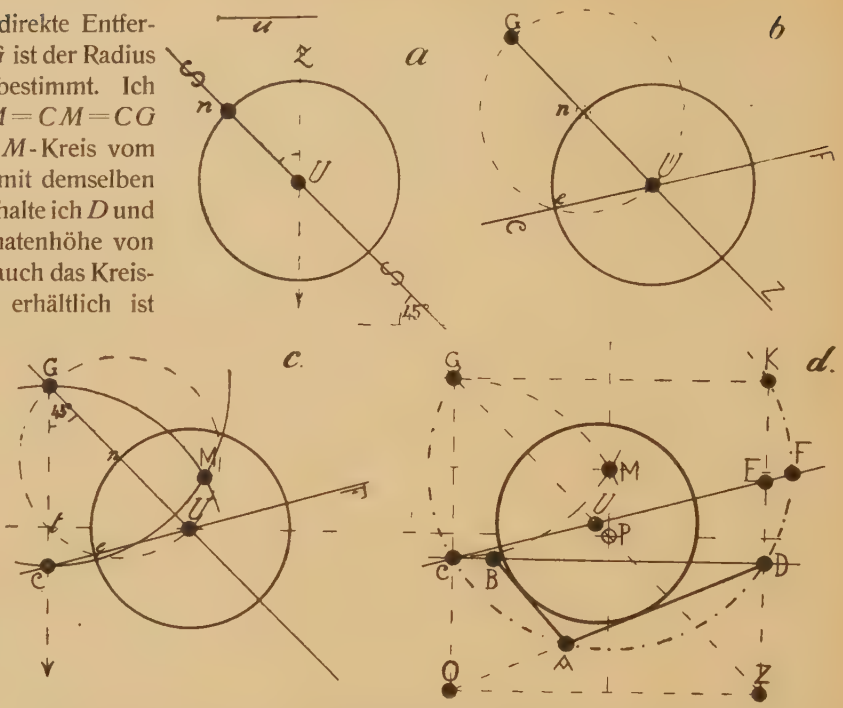
Außer der Schwergewichtslinie ist gegeben: der Radius u der Maximalkugel der Urinblase $= U$.

Voraussetzung: Gegeben U; Richtung der z-Achse. Zu suchen ist: Wie in Aufgabe I–IV.

Auflösung: Wir ziehen wieder den vertikal orientierten U-Kreis mit dem gegebenen Radius u_2 und ziehen in demselben durch Halbieren des obern Quadranten den verlängerten Durchmesser SS, der unter 45° Neigung steht. Da wo dieser Durchmesser die Peripherie in n schneidet, legen wir einen Hilfskreis mit dem Zentrum n von demselben Radius u. Dieser Hilfskreis schneidet einerseits SS in G und anderseits den U-Kreis in e. Ich verbinde e mit dem Kreiszentrum U_2 und verlängere diesen Durchmesser nach beiden Seiten; auf dem Schnittpunkt derselben mit dem Lote von G liegt C, während F irgendwo auf die entgegengesetzte Seite dieser Linie zu liegen kommt.

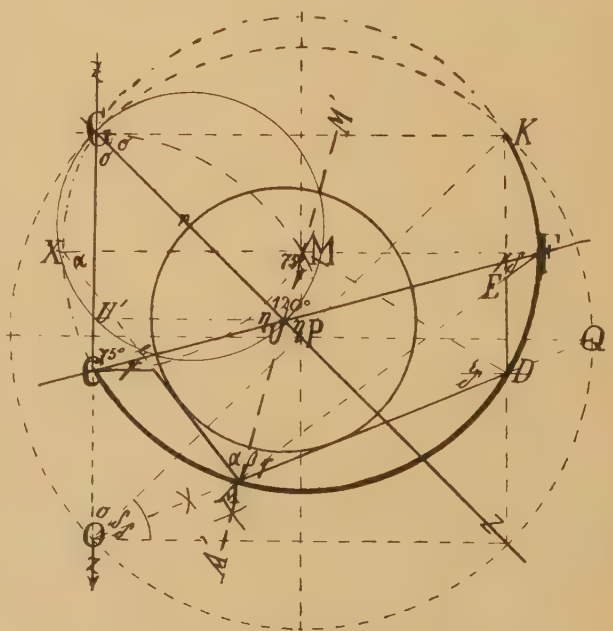
Durch die direkte Entfernung von C zu G ist der Radius des M-Kreises bestimmt. Ich mache daher $GM = CM = CG$ und ziehe den M-Kreis vom Zentrum M aus mit demselben Radius. Damit erhalte ich D und K auf der Ordinatenhöhe von C und G, womit auch das Kreisviereck $GOZK$ erhältlich ist und damit das Zentrum P des umschriebenen Kreises. F liegt auf der Höhe von M.

Noch bleibt übrig, die Lage von A, B u. E zu bestimmen. Zu diesem Zwecke halbiere ich den $\angle POZ = 45°$.



Figuren 84a—d.
Gegeben: u_2 = Radius der Maximakugel der männlichen Blase und Z-Achse. Voraussetzung $Gn = u$.

Die Halbierungslinie OQ geht durch den Schnittpunkt D (B. S. 3) und bestimmt die Lage von A durch den fernern Schnitt mit der Peripherie des M-Kreises. Der Schnittpunkt von FA und KD ergibt die Lage von E. AB kommt senkrecht zu AE zu liegen und wird Tangente an dem U-Kreis. EAB wird $= 90°$ gemacht. Die Winkelschenkel gehen durch F und X. Es ist nun zu beweisen, daß AD wie AB die Peripherie des gegebenen U-Kreises berühren müssen, oder: das Zentrum des U-Kreises liegt auf der Halbierungslinie des $\angle BAD$, die wir „Leitlinie" nennen. (Bei der Analyse hatte ich U_2 auf dem Schnitt von AM und GZ angenommen.) Es ist also zu beweisen: $\angle BAU = BAM = DAU$.



Figur 84e.

Beweis: Da die beiden Kreise durch G und K gehen, und diese

Sehne den Anforderungen $\varphi = 1{,}2246$ genügt, ist die Lagerelation der äußern Fixpunkte richtig. GC liegt vertikal. $KD = GC$ ebenso, somit $\angle CDK = 90^\circ$.

Im $\triangle MAD$ ist $\angle ADM = \delta + \varepsilon = 22\frac{1}{2}^\circ + 30^\circ$ (Konstruktion) $= 52\frac{1}{2}^\circ = \alpha$. Da in diesem gleichschenkligen Dreieck $MD = MA = r_m$ ist, so ist auch $\angle MAD = \beta + \gamma = 37\frac{1}{2}^\circ + 15^\circ = \alpha$. Nach der Konstruktion steht $BA \perp FA$ also $FAB = 90^\circ =$. In dem gleichschenkligen Dreieck MXA aber ist $\alpha = \alpha$; XMA somit $180^\circ - 2\alpha = 75^\circ = 90^\circ - \gamma \cdot \angle CMX = 30^\circ = \varepsilon$, da $MX \perp$ auf der Sechseckseite CG steht; somit $CMA = 75^\circ - 30^\circ = 45^\circ$. Da nun aber $\beta + \gamma = \alpha$ ist $= 52\frac{1}{2}^\circ$, so halbiert MA den Winkel XAD. B liegt auf dem Winkelschenkel AX; E auf AF.

In der obigen Lösung der Aufgabe nun haben wir U als Kreismittelpunkt auf einer Geraden $SS = GZ$ angenommen, die zur Vertikalachse unter 45° geneigt ist. Die durch U gelegte Gerade, auf der C und F liegen (Figur 84c), schließt mit dieser Geraden den $\eta = 60^\circ$ ein, da die Radien beider Kreise gleich sind. CUF hat also zur Horizontalen den Winkel $\gamma = 15^\circ$.

$$\underline{DCF = \angle \gamma = 15^\circ}$$

$$GUC = FUZ \text{ als Gegenwinkel} = \eta;$$

ebenso

$$GUF = \angle CUZ = \frac{360^\circ - 2\eta}{2}$$

$$= \frac{240}{2} = 120^\circ = 2\eta.$$

Ich halbiere nun den Winkel CUZ und ziehe die Halbierungslinie, so erhalte ich wieder eine hexagonale Teilung des U_2-Kreises. (Funktionäre: die Fixpunkte G, C, Z und F.) Es ist nun im fernern der Beweis zu erbringen, daß die Halbierungsgerade der Winkel CUZ und GUF durch A und M geht. Dazu ziehe ich im U-Kreise die gegebenen Sechseckseiten. Sie bilden mit den gelegten Durchmessern überall die gleichen Winkel $\eta = 60^\circ$, also auch mit $A'M'$. Lege ich außen an die Kreisperipherie Tangenten // den Sechseckseiten, so stehen sie wieder unter dem gleichen Winkel η zu den Durchmessern. Oder verallgemeinert: die beiden Tangenten, die von einem gemeinsamen Punkte des verlängerten Durchmessers an den Kreis gezogen werden, bilden mit demselben gleiche Winkel.

Kehren wir den Satz um, so lautet er: Sobald zwei Winkel sich gleich sind, deren gemeinsamer Scheitelpunkt auf einer Geraden liegt, welche durch den Mittelpunkt eines Kreises geht, so läßt sich stets ein Kreis konstruieren, dessen Peripherie von den beiden Winkelschenkeln tangiert wird. Dieser Anforderung entsprechen aber die $\angle DAM$ und BAM, denn es ist

$$\angle DAM = \angle \beta + \gamma = 52\tfrac{1}{2} = \angle \alpha = \angle BAM.$$

Da nun die Punkte G, C, F, Z und M und damit GZ und CF, wie M und U fixiert sind, so ist auch der $\angle CU_2Z$ wie GU_2F gegeben $= 2\eta$. Den obigen Anforderungen entsprechen nur Punkte, die auf der Halbierungsgeraden von $A'M'$ dieser Winkel liegen. $A'M'$ geht also durch die Fixpunkte A und M.

Nach der Konstruktion (s. Tafel II) aber geht die Verlängerung von AM auch durch die gestauchte hintere Kontur am untersten Lendenwirbel und schneidet die Linie CH_kJ.

Mit der Lösung der Aufgabe V haben wir somit eine neue hexagonale Funktion kennen gelernt. Sie betrifft diesmal den U_2-Kreis, d. h. den Kreis der Maximalkugel der

Harnblase. Die funktionierenden Radien dieses U_2-Kreises stehen zu den entsprechenden des M-Kreises unter dem $\angle\gamma$, denn es ist

$$\angle DC(U_2)F = \angle C(U_2)F(M)X = \angle\gamma = 15^\circ.$$

Für den U_1-Kreis der Minimalkugel der Harnblase messen wir ebenso (Figur 82, Aufgabe IV)

$$BU_1A = 75^\circ = 2\beta = 90^\circ - \gamma$$

und

$$DU_1A = 105^\circ = 2\alpha = 90 + \gamma.$$

So findet man durch die Synthese der Form nicht nur das in der Analyse gefundene mathematische System des Aufbaues der männlichen Beckenform vollauf bestätigt, — sie hat uns ergänzend neue Überraschungen gebracht in der Entdeckung neuer Relationen. Durch Stellung neuer synthetischer Aufgaben könnten diese noch bedeutend vermehrt werden; doch mag es genügen, den Weg gezeichnet zu haben, wie sich an Hand weniger Punkte die ganze Form rekonstruieren läßt, nicht rein abstrakt mathematisch, sondern statographisch; denn zur Lösung jeder Aufgabe ist die Rücksichtnahme auf die Richtung der Vertikalen unerläßliches Postulat geblieben.

II. Formanalyse und Synthese eines weiblichen Beckens.

A) Analytische Formzergliederung:

Wir nehmen wieder das erste beste wohlgebaute Becken zur Hand. Es ist ein schön präpariertes „Bänderbecken", das offenbar einem schmächtigen, jugendlichen, zum Teil noch in der Entwicklung begriffenen weiblichen Individuum angehört haben muß. Während die Maße des Beckenringes gut entwickelt sind, finden wir die grazilen Darmbeinschaufeln in der Entwicklung noch etwas zurückgeblieben. Unentwickelt sind noch die Trochantermaße. Das ergibt sich aus folgenden konventionellen Maßen, die wir wieder in gewohnter Weise mit dem Beckenzirkel entnehmen.

Spin. ant. sup.	25,5 $G'G$	Baudelocq	20,0 (CJ)
Crist. ilei	26,5	Tuber ischii	7,4 — 10,0 $(L'L)$
Trochanter	26,5		

Gerader Durchmesser des Beckeneingangs	12,5
Gerader Durchmesser der Beckenmitte	13,2
Gerader Durchmesser des Beckenausgangs	10,5

Für eine genauere Analyse dieser Beckenform und namentlich auch um diese kausal durchführen zu können, bedürfen wir zunächst wieder der sichern Orientierung der Form im Raume unter Berücksichtigung der Schwergewichtslinie.

Das H. MEYERsche „Naturgesetz der Pubospinalebene" gilt nun nach dem Autor in gleicher Weise für das weibliche, wie für das männliche Becken. Durch die drei Doppelpunkte (Spinae ant. sup. ossis ilei GG', Tubercula pubis CC' und Tubera ischii LL') ist somit auch das weibliche Becken analog dem männlichen orientiert.

Wir stellen also unser Becken wieder an die senkrecht gedachte Pubospinalebene Γ_2 und legen senkrecht dazu durch seinen Tiefstpunkt die Horizontalebene Γ_3. Damit ist der O-Punkt, sowie das ganze Ordinatensystem wieder bestimmt, und wir machen uns sofort daran, mittelst Orthogonalprojektion die Lagerelationen unserer Fixpunkte auf den drei Hauptebenen zu bestimmen. Der Projektion auf die Median-, Frontal- und Grundebene können sodann wiederum solche auf beliebige andere Ebenen folgen, sobald nur ihre Lage im Ordinatensystem gesichert ist.

Dabei wählen wir für die der männlichen Form entsprechenden Punkte wieder die nämlichen Bezeichnungen oder vertauschen sie da, wo sie sich in ihrer funktionellen Bedeutung nicht völlig decken, oder wo es sonst wünschenswert erscheint, den analogen männlichen neben dem weiblichen Projektionspunkt zur Darstellung zu bringen, mit Buchstaben aus dem großen griechischen Alphabet. Im übrigen ist die Darstellungsmethode die nämliche wie für die männliche Form.

1. Seitlicher Aufriß: Projektion und Konstruktion.

Lagerelation der Projektionspunkte auf der Symmetrieebene Γ_1.

a) Orientierung.

Nach dem MEYERschen Naturgesetz kommen die Spinae ant. sup. und die Tubercula pubis in die vertikale Pubospinalebene Γ_2 zu liegen.

G und **C** liegen also wieder, gleich wie beim männlichen Becken, an der vertikalen z-Achse, Senkrecht zu dieser legen wir durch den tiefsten Projektionspunkt (L) der Beckenform die horizontale y-Achse. Dieser Doppelpunkt L **LL'** ist wieder ein „Kufenpunkt" am Übergang der Tubera ischii zum Ramus ascendens. Durch die drei (Doppel-)Punkte GCL ist das Becken räumlich orientiert und auch der O-Punkt gegeben. (Siehe Einleitung Fig. 5.)

Die Orthogonalprojektion ergibt nun an der skelettierten Beckenform folgende Ordinatenwerte für die Projektionspunkte nach direkter Messung.

Tab. IV.

Tabelle IV.

Ordinatenwerte der Fixpunkte einer weiblichen Beckenform auf der Medianebene Γ_1 nach direkter Messung.

Fixpunkte und Maße				
auf Ordinate z_1			auf Abszisse y_1	
$OA' = a_z$	2,5 cm	**A**	4,0 cm	$a_y = OA''$
$OB' = b_z$	4,5 „	**B**	0,8 „	$b_y = OB''$
$OC' = c_z$	3,7 „ (4,5)	**C**	0,0 „	$c_y = OC''$
$OD' = d_z$	6,8 „	**D**	13,25 „	$d_y = OD''$
$OE' = e_z$	8,7 „ (8,59)	**E**	13,75 „	$e_y = OE''$
$OF' = f_z$	9,4 „	**F**	14,75 „	$f_y = OF''$
$OG' = g_z$	13,7(5) „	**G**	0,0 „	$g_y = OG''$
$OH_k' = h_{kz}$	15,25 „	H_k	5,7 „	$h_{ky} = OH_k''$
$OH_l' = h_{lz}$	17,2(5) „	H_l	5,2 „	$h_{ly} = OH_l''$
$OI' = i_z$	19,7 „	**I**	5,2 „	$i_y = OI''$
$OJ' = j_z$	19,2 „	**J**	12,7(5) „	$j_y = OJ''$
$OK' = k_z$	12,7 „	**K**	14,7(5) „	$k_y = OK''$
$OL' = l_z$	0,0 „	**L**	8,0 „ (7,94)	$l_y = OL''$
$O\Pi' = \pi_z$	8,7 „	Π	4,0 „	$\pi_y = O\Pi''$

Durchmesser des Femurkopfes 3,4—3,6; Radius $r_f = 1{,}75$ (1,8 cm)

CJ Tuberc. pub. — Proc. spin. lumb. V = 20,0 cm
BH_k Symphys. pub. — Promontorium = 12,5 cm
AF Arcus pub. — Sperrhacken d. Steißbeins = 13,0 cm

Aus den so gewonnenen Ordinatenwerten lassen sich ohne weitere Berechnung folgende Lagerelationen auf Γ_1 feststellen:

1. $OG = g_z = OE' = e_y = 13{,}75$ cm,

d. h. der Projektionspunkt der Spin. ant. sup. = Medianpunkt der Interspinallinie **GG'** hat auch beim weiblichen Becken gleichen Abstand vom Nullpunkt wie der Fußpunkt Z des Lotes EZ vom untersten Kreuzbeinpunkt **E**.

Verbinde ich Z mit G, so steht diese Linie unter 45° Neigung zur Horizontalebene y.

2. Denselben Ordinatenwert 13,7 (5) cm sowohl auf der Ordinate Z wie auf der Abszisse y finden wir beim weiblichen Becken abweichend vom männlichen Typus, für die Spitze des Processus spinosus des III. Sacralwirbels (K), während der Scheitelpunkt K des Hiatus canalis spinalis andere Ordinatenwerte aufweist, indem er tiefer (12,7) und weiter nach hinten 14,7 (5) zu liegen kommt.

Es ist dies die 1. typische Abweichung.

3. Gleiche Abszissenwerte haben ferner der Scheitelpunkt $\bar{A}$ am Arcus pubis, wie der Mittelpunkt II des Femurkopfes (Drehachse); denn es ist:

$$A_y = \pi_y = 4{,}0\,\text{cm} \quad \text{(2. Typusunterschied)}.$$

4. Im Ferneren ist:

$$l_y = 2a_y = 8{,}0\,\text{cm} \quad \text{(3. Typusunterschied)}.$$

Schon mit diesen wenigen Proportionen und Lagerelationen sind die Grundlinien des weiblichen Beckentypus gezeichnet und trotzdem eine gewisse Analogie mit der männlichen Form hergestellt.

Die beiden Projektions- bzw. Ordinatenpunkte E'' $(= Z)$ und G haben also wieder vom O-Punkte aus gemessen gleichen senkrechten Abstand und bilden wiederum mit dem letztern zusammen drei Eckpunkte des Beckenquadrates. Der vierte Eckpunkt desselben ist ebenfalls gegeben in K. Aber dieser Lagepunkt K entspricht also in der Beckenform nicht mehr dem Endpunkt K des Verstärkungsgrates (Hiatus canal. spin.), wie bei der männlichen Form. Dieser ist bei der weiblichen Form tiefer getreten, und zwar um so viel, daß die Lage des vierten Quadratpunktes an den Proc. spinos. des III. Kreuzbeinwirbels zu liegen kommt. (S. Tafel VIII, IX, X.)

Die Seite des Beckenquadrats bezeichnen wir wieder mit b. Das Grundmaß b ist diesmal:

$$b\ 13{,}75\ \text{cm} \qquad \frac{b}{2} = 6{,}875\ \text{cm} = s$$

und dient als Ausgangspunkt für alle Berechnungen unseres Beckenparadigmas.

Wir ziehen im Quadrat $OZKG$ die beiden Diagonalen OK und ZG; sie schneiden sich in einem Punkte, den wir wieder P nennen und der wieder zum Mittelpunkt des umschriebenen P-Kreises wird. Aber dieser Punkt P ist nicht mehr Projektionspunkt der Drehachse; der neue Punkt II derselben ist am weiblichen Becken anderswo zu suchen.

Nichtsdestoweniger liegt es uns daran, hier gleich den Radius dieses P-Kreises in seiner Länge festzustellen. Es sei: $OP = R_p = PZ$ und $OZ = b = 13{,}75$ cm; dann ist $(OZ)^2 = 2R_p^2 = b^2$

$$R_p = \frac{\sqrt{b^2}}{2} = \frac{\sqrt{(13 \cdot 75)^2}}{2} = 9{,}7227\ \text{cm}$$

Der äußere Abschnitt von $R_p = q = R_p - \frac{b}{2} = 2{,}847$ cm.

Wenden wir unsere Blicke nun zunächst der *Drehachse* zu.

Da ihre Lagerelation zum O-Punkt des Ordinatensystems im weiblichen Beckenring eine andere ist, als bei der männlichen Form, habe ich ihr statt $\boldsymbol{PP'}$ die neue Bezeichnung III' gegeben.

Bei der seitlichen Projektion auf Γ_1 finden wir für den Projektionspunkt II dieser Drehachse folgende Ordinatenwerte (s. Projektionstabelle IV):

$$\pi_y = 4{,}0\ \text{cm} = \alpha_y, \text{ und}$$
$$\pi_z = 8{,}7\ \text{cm} = e_z.$$

Damit sind wieder wichtige Lagekorrelationen gegeben: **Die weibliche Drehachse liegt auf der Höhe des untersten Kreuzbeinpunktes *(E)* und senkrecht über dem Scheitelpunkt $\bar{A}$ des Arcus pubis.** Dieser letztere Punkt aber liegt senkrecht über der Mitte der Abszissenlinie OL; denn es ist (Tabelle III): B.S.46.

$$l_y = 8{,}0\ \text{cm} = 2\alpha_y = 2\pi_y$$

Verbinde ich A mit O und L, so wird das **gleichschenklige Basisdreieck** OLA durch das Lot von A, das mit demjenigen von Π zusammenfällt, halbiert.

Die beiden Basiswinkel $\lambda = \lambda$, dieses gleichschenkligen Dreieckes berechnen sich wie folgt (Fig. 85):

$$\underline{\operatorname{tg} \angle \lambda} = \frac{AA''}{OA''} = \frac{a_z}{a_y} = \frac{2{,}5\text{ cm}}{4{,}0\text{ cm}} = \begin{array}{r} \log\ 0{,}39794 \\ -\log\ 0{,}60206 \\ \log \operatorname{tg}\ 9{,}79588 \end{array} = \underline{32^\circ 0'}.$$

Fassen wir das größere rechtwinklige Dreieck OZE ebenso ins Auge, so ist wieder:

$$\frac{EZ}{OZ} = \frac{e_z}{e_y} = \operatorname{tg} \angle o = \frac{8{,}7\text{ cm}}{13{,}75\text{ cm}} = \begin{array}{r} \log\ 0{,}93952 \\ -\log\ 1{,}13830 \\ \log \operatorname{tg}\ 9{,}80122 \end{array} = \underline{32\tfrac{1}{8}^\circ}.$$

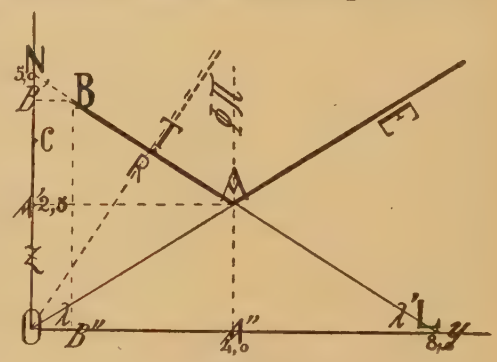
Die trigonometrisch gewonnene Differenz der beiden Winkel λ und o ist so verschwindend klein, daß wir wohl die beiden als gleich bezeichnen und sagen können:

A liegt auf OE, oder:

B.S. 47. **Die Verlängerung von EA geht durch den Nullpunkt** und steht unter dem **Basiswinkel $= 32^\circ$** und weiterhin:

Senkrecht über der Mitte des gleichschenkligen Basisdreieckes liegt die Drehachse Π auf der Höhe von E. Auf Grund der Winkelgröße $\lambda = 32^\circ$ berechnet sich e_y genauer wie folgt:

$$\begin{array}{rl} e_y = b \cdot \operatorname{tg} 32^\circ = & \log 1{,}13830 \\ + & \log \operatorname{tg} 9{,}79578 \\ = \underline{8{,}6\text{ cm}} & \log 9{,}93408 \end{array}$$



Figur 85.
Das gleichschenklige Basisdreieck OLA.

Nachdem wir nachgewiesen, daß OAE eine Gerade ist oder mit anderen Worten, daß die Verlängerung von EA durch den Nullpunkt geht und die eine Seite des gleichschenkligen Basisdreieckes OLA darstellt, wollen wir den gleichen Beweis auch für die entsprechende andere Seite LA erbringen, sowie für die Behauptung, daß BAL eine Gerade sei, die unter demselben Neigungswinkel λ zur Horizontalen steht wie EAO (Fig. 85).

Vorausgesetzt ist das auf der y-Achse liegende gleichschenklige Basisdreieck OLA und Cote von B nach Proj. Tab. IV.

1. $< \lambda = < \lambda' = 32^\circ$; $OL = 8{,}0\ (7{,}94)$.
2. $b_y = 0{,}8$ cm; $b_z = 4{,}5$ cm.

Beweis: Ich verbinde den Fixpunkt B unter Umgehung von A mit Dreieckpunkt L und versuche, den Winkel bei L zu bestimmen, den diese Gerade mit der Horizontalen y bilden wird.

In dem Ordinatendreieck $BB''L$ sind die beiden Katheten bekannt, nämlich: $BB'' = b_z = 4{,}5$; $B''L = l_y - b_y = 7{,}94 - 0{,}8 = 7{,}14$. Es ist somit:

$$\operatorname{tg} < x = \frac{4{,}5}{7{,}14} = \begin{array}{r} \log\ 0{,}65321 \\ -\log\ 0{,}85369 \\ \log \operatorname{tg}\ 9{,}79952 \end{array} = 32^\circ 15'.$$

Die Winkelgröße entspricht also, so grob unsere Messungsmethode am Becken für trigonometrische Aufgaben auch erscheinen, doch ziemlich genau dem Basiswinkel von

32°, d. h. die Gerade BL hat den gleichen Neigungswinkel wie die Dreieckseite AL; er bildet somit ihre Verlängerung, wie AE die Verlängerung von OA ist; oder: **BA und AE sind gleich geneigt zur Horizontalebene y.** B.S.48.

Die Verlängerung von AB nach oben trifft die Ordinatenachse z in N. Dieser Punkt N hat die Kote

$$ON = 5{,}000 \text{ cm} = 8{,}0 \text{ cm} \cdot \operatorname{tg} 32^\circ$$

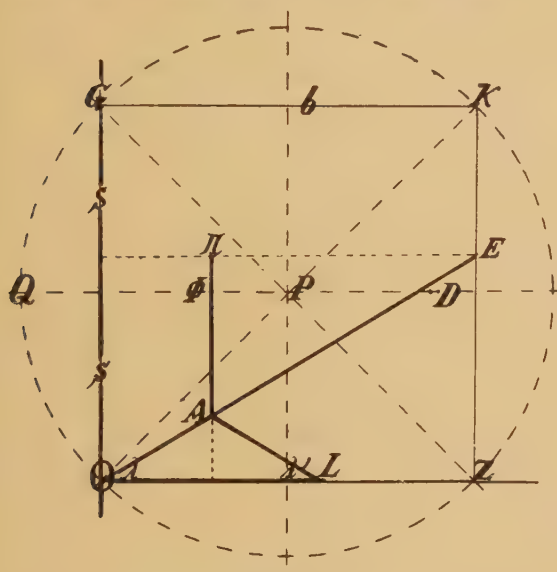
Das Verhältnis:

$$ON : OL = 5{,}0 : 8{,}0$$
$$OA' : OA'' = 2{,}5 : 4{,}0$$

ist bemerkenswert.

b) Das mathematische System des weiblichen Beckentypus.

Das weibliche Beckenquadrat auf Γ_1 ist mit der Quadratseite $b = 13{,}75 = 2s$ gegeben durch die Projektions- und Ordinatenpunkte $GOKZ$. Wir ziehen die Diagonalen OK und GZ und von ihrem Schnittpunkt P aus den umliegenden P-Kreis mit dem vertikalen Ordinatenkreuz (Fig. 86).



Figur 86.

ΠA steht $\perp$ auf der Mitte der Basislinie OL des gleichschenkligen Basisdreiecks.

Nehmen wir nun $d_z = 6{,}8$ cm, (Tab. IV) genauer 6,8 (6,75), so ist D von den beiden Punkten O und G der z-Ordinate gleich weit entfernt, liegt also an der Spitze eines gleichschenkligen Dreiecks, dessen Basis OG bildet. Die Höhe dieses Dreieckes OGD, auf OG errichtet, geht durch P.

Und wieder senkrecht auf DQ, weil $\parallel OG$, steht im Schnittpunkt Φ die Linie, welche die beiden Projektionspunkte A und Π verbindet. $A\Pi$ steht auf der Spitze des gleichschenkligen „Basisdreieckes" OLA und auf der Ordinatenhöhe von E, denn es ist:

$$\pi_z = e_y = 8{,}7 \text{ (Tab. IV)}.$$

Damit sind eine Anzahl von Wechselbeziehungen gegeben. Sobald die Lage nur eines der vier Punkte A, L, E oder Π im Quadrat $GOZK$ bekannt ist, sind zumeist auch die andern drei in ihrer Lage bestimmt. Die Kenntnis der Lage von E allein ist hierzu ungenügend; es ist noch die Länge EA oder $E\Pi$ oder der Winkel λ erforderlich.

Verbindet man im Fernern einerseits G mit Π und verlängert diese Linie bis zum Schnittpunkt Σ mit der Abszissenachse y, und (Fig. 87) andererseits den Fixpunkt L auf der letztern mit G, so erhält man, wenn man auch noch die Diagonalen GZ in Betracht zieht, insgesamt mehrere Dreiecke, die alle an der gemeinschaftlichen Seite OG liegen. Es mag von Interesse sein, die Größe der Winkel dieser Dreiecke bei G in Berechnung zu bringen.

1. Im Dreieck **OGZ** ist der gleichnamige Winkel $= 45^\circ$, da $OG = OZ = b$ ist. B.S.49.
2. Im Dreieck OGL ist der Winkel **OGL** $= \operatorname{tg} x$

$$\operatorname{tg} x = \frac{OL}{OG} = \frac{8{,}0}{13{,}75} = \frac{4{,}0}{6{,}875} = \begin{matrix} \log\ 0{,}60206 \\ -\log\ 0{,}83727 \end{matrix}$$
$$= \log \operatorname{tg}\ 9{,}76479 = 30^\circ\,11' = \angle \varepsilon.$$

Mit der Berechnung der genannten Winkelgrößen bei G ist bereits eine wunderbare Übereinstimmung im geometrischen System der beiden Beckentypen zu konstatieren.

Es ist nämlich: Winkel $ZGO = 45°$
Winkel $LGO = \mathbf{30°} = \angle\varepsilon$
und also Winkel $\boldsymbol{ZGL} = 45 - 30 = \mathbf{15°} = \angle\gamma$.

Dem Winkel $\varepsilon = 30°$ liegt der Abschnitt OL auf der Seite des weiblichen Beckenquadrates gegenüber, während der andere Winkelschenkel der Quadratseite $OG = b$ entspricht. OL wird daher zur Sechseckseite und ist gleich dem Radius eines Kreises, den wir durch die drei Punkte O, G und L legen. Sein Zentrum Φ hat die Ordinatenkote von P_z. Damit wird die vordere Seite OG des weiblichen Beckenquadrates zur gemeinsamen Sehne beider Kreise, zur Quadratseite im großen und zur Dreieckseite im kleinen Kreis. Sie erfüllt also genau dieselben Bedingungen, wie die obere Quadratseite GK im geometrischen System vom männlichen Typus.

B.S.50. **Sobald diese Bedingungen erfüllt sind, ist das Verhältnis der beiden Kreisradien zueinander ein konstantes, $= k$.**

Es ist also:

$$\frac{R_p}{R_\varphi}\ \overset{\text{weiblich}}{=}\ \frac{R_p}{R_m}\ \overset{\text{männlich}}{=} \sqrt{2}\cdot\sin 60° = k$$
$$= 1{,}2246 : 1.$$

Wir legen dabei dem großen Kreis wieder das Prädikat „formerhaltend", dem kleinern „formbildend" bei und nennen diese konstante Verhältniszahl, die wir nun im System des weiblichen wie des männlichen Beckens getroffen, wiederum φ, und sagen:

Aus der Formanalyse des männlichen wie des weiblichen Beckens ergibt sich eine Konstante $\varphi = 1{,}2246$. Zum Unterschied vom männlichen Typus aber trägt die Peripherie des kleinen (Φ-)Kreises weiblicherseits nur zwei Fixpunkte (G, L) auf Γ_1. Ein dritter Punkt auf dieser Peripherie ist der O-Punkt, ein vierter die Dreieckspitze A in der Nähe des Fixpunktes D (Steißbeinspitze). $G\Phi L$ wird Durchmesser im Φ-Kreis.

$$OL = O\Phi = L\Phi = R_\varphi.$$

Da die Gerade, die A mit Π verbindet, senkrecht und vertikal auf der Mitte von OL steht, weil

$$A_y = \Pi_y = \frac{l_y}{2} = \frac{8{,}0}{2} = 4{,}0 \text{ cm (Projektions-Tab. IV u. Fig. 86)}$$

ist, so geht sie auch durch den Kreismittelpunkt Φ; mit andern Worten:

Beim weiblichen Beckentypus liegt die Drehachse Π mit dem Zentrum des formbildendes Kreises und der Spitze A des gleichschenkligen Basisdreieckes in einer Vertikalebene.

Es bleibt uns nun noch übrig, die Länge von R_φ aus R_p auf Grund der neuen Beckenbasis $b = 13{,}75$ cm zu berechnen.

Es ist:

$$\underline{R_\varphi} = \frac{R_p}{\varphi} = \frac{9{,}7227 \text{ cm}}{1{,}2246} = \underline{7{,}94 \text{ cm}.}$$

Diesem Kreisradius ist aber auch gleich die Basis OL des Basisdreieckes OLA als Seite des eingeschriebenen Sechseckes, und da die Verhältniszahl φ aus zwei trigonometrisch exakten Faktoren besteht, nämlich aus $\sqrt{2} = 1{,}414$ und sin. $60° = 0{,}86603$, so erhalten wir nun auch für den Basisabschnitt OL, den wir am Becken durch direktes Maß $= 8{,}0$ cm taxiert, die genauere Berechnung:

$$\underline{OL} = l_y = \underline{7{,}94 \text{ cm}.}$$

Ein besonderes Interesse verlangt speziell die Lagebestimmung der Drehachse $\Pi\Pi'$, die auf Γ_1 (männlich P) nach Π gewandert und nun auf der Ordinatenhöhe von E zu finden ist. Es ist nämlich nach Projekt. Tabelle IV

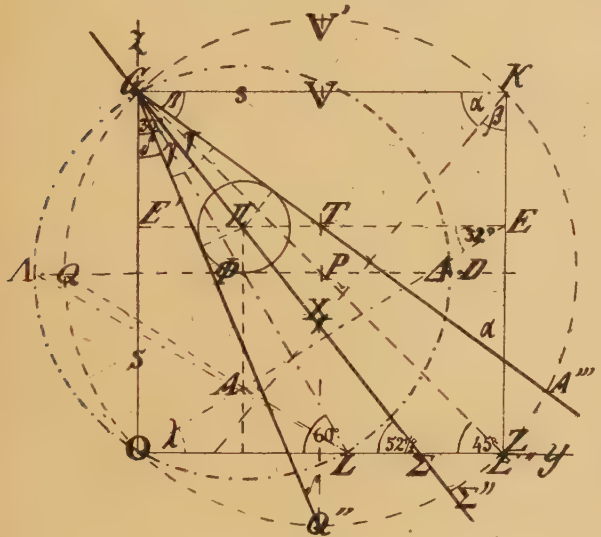
$$\Pi_z = e_z = 8{,}7 \text{ cm (trig. } 8{,}6).$$

Auch die Abszissenhöhe von Π ist bestimmt und in Korrelation zu A gebracht:

$$\Pi_y = a_y = 4{,}0 \text{ cm (genauer: } \frac{l_y}{2} = \frac{7{,}94}{2} = 3{,}97).$$

So genau nun auch die Lage von Π selber bestimmt werden kann, so schwer ist es am Bänderbecken, den Durchmesser bzw. den Radius für den zugehörigen Femurkopf zu messen. Ich habe den Durchmesser zu 3,5 — 3,6 cm, also den Radius R_f zu 1,75 — 1,8 cm (Projekt.-Tab. IV) angegeben. Das Maß $R_f = 1{,}75$ würde ziemlich der Distanz $\Pi\Phi$ entsprechen, denn es ist:

$$\pi_z - \varphi_z = 8{,}6 \text{ cm} - \frac{b}{2} = 8{,}6 - s$$
$$= 8{,}6 - 6{,}875 = 1{,}725 \text{ cm}.$$



Figur 87.

Versuchen wir indessen, den Radius R_f des weiblichen Femurkopfes auf andere Weise zu berechnen! — Dazu gibt uns die Tangentenkonstruktion, die wir beim männlichen Typus kennen gelernt, die Wegleitung.

Die Entfernung eines Punktes von einem andern, die zurückgelegte Wegstrecke eines in Bewegung befindlichen Punktes, lassen sich am sichersten von einem dritten außerhalb der durchwanderten Wegstrecke befindlichen Punkte trigonometrisch berechnen, wie ja die Anwendung von Winkelgrößen in Triangulation und Astronomie die denkbar genauesten Resultate ergibt.

So suchen wir die Wanderung der Drehachse von P nach Π am besten auf diesem Wege vom Fixpunkte G aus zu ergründen.

Da Π auf der Ordinatenhöhe von E liegt (Projekt.-Tab. IV), sind im rechtwinkligen Dreieck $GE'\Pi$ die beiden Katheten bekannt. Es ist nämlich:

$$E'G = g'_z - e'_z = 13{,}75 \text{ cm} - 8{,}59 \text{ cm} = 5{,}16 \text{ cm}$$

und $$\Pi E' = \pi_y = 3{,}97 \text{ cm}.$$

Setzen wir die Hypothenuse $G\Pi = x$, so ist:

$$x^2 = (E'\Pi)^2 + (E'G)^2 = (3{,}97)^2 + (5{,}16)^2$$
$$x = \sqrt{40{,}761} = 6{,}3845$$
$$\underline{G\Pi = 6{,}3845 \text{ cm}.}$$

Der Winkel $\Pi GE' = x$ berechnet sich in demselben rechtwinkligen Dreieck zu

$$\operatorname{tg} x = \frac{E'\Pi}{E'G} = \frac{3{,}97}{5{,}16} = \begin{array}{l} \log\ 0{,}59879 \\ -\log\ 0{,}71264 \\ = \log \operatorname{tg}\ 9{,}88615 = 37^\circ 34' \end{array}$$

$$\underline{\angle \Pi GE' + 37\tfrac{1}{2}^\circ = \beta.}$$

Diese Winkelgröße ist eine bekannte vom männlichen Beckentypus her; wir bezeichnen sie daher auch hier mit demselben Buchstaben β.

Verlängere ich die Gerade $G\Pi$ nach abwärts bis zum Schnittpunkt Σ derselben mit der Abszisse y, so steht die Gerade $G\Pi\Sigma$ zu dieser Horizontalen unter dem Ergänzungswinkel $x = 52\,^1/_2{}^\circ = \alpha$.

Denn es ist im Ordinatendreieck $GO\Sigma$

$$\angle\beta + \angle\alpha = 37\tfrac{1}{2}^\circ + 52\tfrac{1}{2}^\circ = 90^\circ.$$

Wir dürfen also jetzt schon den wichtigen Satz aussprechen:

B.S. 51. **Das mathematische System steht bei beiden Geschlechtstypen der menschlichen Beckenform unter derselben Winkelteilung**

γ	ε	β	α	η
15°	30°	$37\frac{1}{2}^\circ$	$52\frac{1}{2}^\circ$	60°

(s. B.S. 9 u. 12).

Neu ist bis jetzt am weiblichen Beckentypus nur die Winkelgröße des Basiswinkels λ gewesen. Da nun $\lambda = \lambda' = 32^\circ$ ist, so ist der Stirnwinkel des Basisdreieckes bei $A = 180^\circ - (2\times 32^\circ) = 116^\circ$.

Gleich groß ist auch sein Scheitelwinkel (Fig 85), der durch die Vertikale ΠA halbiert wird:

$$\underline{\angle BAE} = \angle OAL = 2\times 58^\circ = \underline{116^\circ}$$

Ich habe diesen Winkel BAE, der — wie ich vorausnehmen will — weiblicherseits von den beiden Beckenbodenebenen BA und AE gebildet wird, den *„Spreizwinkel"* des weiblichen Beckens benannt, männerlicherseits entspräche ihm der Winkel BAD. Genetisch funktionell ist der Spreizwinkel das Primäre, Ursächliche; der von ihm abhängige Basiswinkel λ ist das Sekundäre, die „abhängige Größe" der Funktion (s. Exp. VII, Fig. 53).

An diesen Winkelgrößen werden wir möglichst festhalten müssen. Ich wünsche nun noch für die Länge von AB — die innere „Symphysenlänge" — den trigonometrisch bestimmten Wert zu haben. Er berechnet sich nach PYTHAGORAS wie folgt:

$$AB^2 = (b_z - a_z)^2 + (a_y - b_y)^2 = (2{,}0)^2 + (3{,}2)^2 = 14{,}24$$

$$\underline{AB} = \sqrt{14{,}24} = \underline{3{,}7735 \text{ cm}}$$

$$\frac{AB}{2} = \underline{1{,}8867} = \underline{AT} = \underline{BT}.$$

$$\underline{NL} = \sqrt{(8)^2} + \sqrt{(5)^2} = \sqrt{89} = \underline{9{,}434}$$

$$\underline{NB} = \sqrt{0{,}5} + \sqrt{0{,}8} = \underline{0{,}943} = \underline{\tfrac{1}{10}\,NL}.$$

Errichte ich vom Nullpunkt aus die Senkrechte OR auf BA, so sind die rechtwinkligen Dreiecke ORN und NOL einander ähnlich ($\sim$), weil sie die Seite NO und den Winkel bei N gemeinschaftlich haben (Fig. 85).

Es ist somit:

$$\angle NOR = \angle\lambda = 32^\circ$$

und es verhält sich

$$NR : NO = NO : NL = 5{,}0 : 9{,}434$$

$$NR = \frac{25{,}0}{9{,}434} = 2{,}650$$

$$BR = NR - NB = 2{,}650 - 0{,}943 = 1{,}707 \text{ cm}.$$

Nun ist nach vorhergehender Berechnung

$$\frac{BA}{2} = BT = 1{,}8867 \text{ cm}$$

und ferner

$$BR = 1{,}707 \text{ cm somit } \underline{TR} = \underline{0{,}179 \text{ cm}};$$

d.h. 1. Das Perpendikel, das wir auf die Mitte von AB in T errichten, geht nahe am Nullpunkt O des Ordinatensystems vorbei.

2. Jedes Perpendikel auf AB, wie auf AE errichtet, hat eine Neigung von 58°.

3. Da AB und AE zur Horizontalebene y gleich geneigt sind, steht die Halbierungslinie ($A\Pi$) des $\angle BAE$ vertikal.

Damit kehren wir in unsern Betrachtungen nochmals zur Drehachse Π und zum Femurkopfkreis zurück. Wir haben sie verlassen, um zunächst darauf hinzuweisen, daß das trigonometrische Winkelsystem, das wir am männlichen Beckentypus in hexagonaler und tesseraler Funktion kombiniert herausgefunden hatten, nunmehr auch im System des weiblichen Beckenbaues wieder zu finden ist, wenn auch in gänzlich veränderter Kombination. Daß daneben weiblicherseits noch — scheinbar unabhängig vom andern — das Winkelsystem des Basisdreieckes auftritt, ändert nichts an der eben erwähnten, an beiden Typen übereinstimmenden Tatsache.

Die Übereinstimmung im System der beiden Beckenkreise mit der konstanten Verhältniszahl φ läßt uns nun im weitern spielend auf einfachem konstruktionellem Wege manche Korrelation erkennen, die wir sonst durch Berechnung mühsam erst erringen müßten.

Wir ziehen vom Projektionspunkt Π aus mit den Lagekoten

$$\pi_z = e_z = 8{,}6 \text{ cm } (8{,}591); \quad \pi_y = a_y = 4{,}0 \text{ cm } (3{,}97)$$

den Femurkopfkreis ($R_f = 1{,}75$), den wir Π-Kreis nennen wollen, und verlängern $G\Pi = 6{,}3845$ cm bis zu Σ auf der y-Achse.

An diesen Π-Kreis legen wir von G aus die beiden Tangenten, die wir verlängern bis zur Peripherie des P-Kreises (Fig. 87). Sie schneiden diesen Kreis in A''' und Q''. Q'' liegt auf dem Perpendikel von P.

Behauptung: $$Q''_y = p_y = \frac{b}{2} = s = 6{,}875.$$

Beweis: Wir kennen aus B.S. 50 den Winkel, den $G\Pi\Sigma$ zur Abszisse y macht. Er ist $\alpha = 52\frac{1}{2}°$. Ihm kommt als Wechselwinkel $\angle \Sigma GK$ gleich.

$G\Sigma$ schneidet die Mittelvertikale des Beckenquadrates in X. Verbindet man X mit K (Fig. 87), so wird der Quadratwinkel bei K in $\alpha + \beta$ zerlegt ($52\frac{1}{2}° + 37\frac{1}{2}° = 90°$).

In Dreieck GXK nun zerlegt die Mittelsenkrechte XV den Winkel $GXK (= 180 - 2\alpha) = 75°$ in 2β. Es ist also:

$$\angle GXV = \angle \beta.$$

Anderseits schneiden auch die beiden von demselben Punkt G aus an den Π-Kreis gezogenen Tangenten die Mittelvertikale in je einem Punkte, T und Q''.

Im rechtwinkligen Dreieck GVT kennen wir außer dem zweiten Winkel β auch noch die eine Seite $GV = s = \frac{b}{2}$. Der Ergänzungswinkel bei T ist also wieder $= \alpha$.

$$\angle GTV = \angle \alpha.$$

Der Tangentenwinkel $TG(\Pi)X$ ist somit $= \alpha - \beta = 52\frac{1}{2}° - 37\frac{1}{2}° = 15° = \gamma$.

Wenn aber von einem Punkte (G) aus zwei Tangenten an einen Kreis gezogen werden, so wird der Winkel, den diese beiden Tangenten einschließen, von der Verbindungslinie des gemeinsamen Tangentenpunktes (G) mit dem Kreiszentrum (Π) halbiert. Der ganze Tangentenwinkel beträgt also $2\gamma = 30° = \varepsilon$.

Summieren wir nun von der oberen Quadratseite GK abgerechnet die bekannten Winkel bei G, so erhalten wir (Fig. 88)

$$\begin{aligned} \angle KGT &= \angle\beta = 37\tfrac{1}{2}^\circ \\ \angle TGH &= \angle\gamma = 15^\circ \\ \angle \Pi GQ'' &= \angle\gamma = \underline{15^\circ} \\ & \qquad 67\tfrac{1}{2}^\circ. \end{aligned}$$

So bleibt als Rest für den

$$\text{Winkel } \underline{QGQ''} = 90^\circ - 67\tfrac{1}{2}^\circ = \underline{22\tfrac{1}{2}^\circ} = \delta.$$

In diesem Peripheriewinkel $\delta = 22\frac{1}{2}^\circ$ aber tritt uns mit einem Male jener Funktionär des P-Kreises am männlichen Beckentypus wieder entgegen (s. Fig. 19a), der dort als Gerade ODQ die Vermittlerrolle zwischen der tesseralen und hexagonalen Kreisfunktion übernommen hat. Im anders angeordneten, d. h. nur anders orientierten Kreissystem der weiblichen Beckenform übernimmt der Ordinatenpunkt L auf der y-Achse genau die mathematische Funktion, welche dem Punkt D im männlichen System zukommt. Beide Projektionspunkte sind nämlich in gleicher Weise:

1. Punkte auf der einen Quadratseite des formerhaltenden P-Kreises (R_p).
2. Schnittpunkt der Quadratseite mit der größern Kathete (OQ und GQ'') des (rechtwinkligen) Peripheriewinkels, der einen Eckpunkt des Quadrates zum Scheitelpunkt und den Durchmesser des R_m- bzw. R_φ-Kreises zur Hypothenuse hat.
3. Punkte auf der Peripherie des kleinern formbildenden M- bzw. Φ-Kreises.

B.S. 52. **Der** diesbezügliche **prinzipielle Unterschied im System der beiden Geschlechtstypen** ist folgendermaßen zu definieren:

Geometrisch: Der rechte Winkel des Ordinaten-Dreieckes, dessen größere Kathete von der gemeinsamen Sehne beider Kreise gebildet wird, liegt (s. Fig. 92)

a) männlicherseits an der Ordinate bei G,
b) weiblicherseits an der Ordinate bei O.

Konstruktionell: Die Winkelteilung erfolgt:

a) männlich bei A durch rechtwinklige Verschränkung der Fixpunkte;
b) weiblich durch Tangenten an den Femurkreis von G aus (s. Fig. 87 u. 88).

Statisch: Die zugehörige Hypothenuse ruht auf:

a) männlicherseits am oberen Ende der Stützachse bei K,
b) weiblicherseits am unteren Ende der Stützachse bei G.

Die gemeinsame Sehne beider Kreissysteme, welche die gemeinsamen beiden Peripheriepunkte miteinander verbindet, liegt also:

a) männlich (GK) horizontal,
b) weiblich (GO) vertikal.

Durch die Identifizierung des Winkels $GQ''V'$ (Fig. 87) $= ZOD$ (Fig. 7) mit δ ist der Beweis erbracht.

Verbinde ich ferner A''' mit dem Kreiszentrum P, so ist

$$\text{Winkel } A'''PZ = 2\angle A'''GZ \text{ als zugehöriger Zentrumswinkel;}$$

$\underline{A'''GZ}$ ergänzt aber $= \angle\beta$ zu 45°, ist somit $= 45^\circ - 37\frac{1}{2}^\circ = 7\frac{1}{2}^\circ = \frac{\gamma}{2}$

und daher der Zentrumswinkel $\underline{A'''PZ} = \underline{15^\circ} = \underline{\gamma}$.

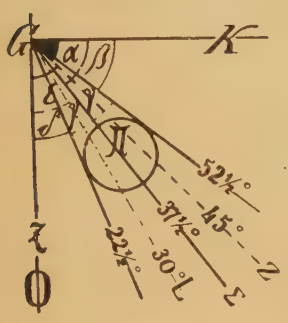
Daraus folgert auch, wenn ich P noch mit Σ'' verbinde, daß auch

$$\text{Winkel } A'''GZ = \Sigma''GZ = \tfrac{\gamma}{2} \text{ ist.}$$

Der ganze Winkel $\Sigma''GA$ wird somit durch GZ halbiert.

Nachdem uns nun für das ganze System zuverlässige Winkel zu Gebote stehen, die für unsere trigonometrischen Berechnungen ungleich viel wertvoller sind als einfache Längenmaße, so werden wir wieder gut tun, wenn wir uns mehr auf jene, als auf diese verlassen.

So versuchen wir nun, auch noch den Radius des Femurkopfes, nachdem uns technische Schwierigkeiten erwachsen sind, den Durchmesser am Becken selber genauer zu bestimmen, aus der Lagerelation der Projektionspunkte zu eruieren, indem GH bereits bekannt ist. $GH = 6{,}3845$.



Figur 88.
Die Wirbelteilung bei G. Tangentekonstruktion an den Π-Kreis.

Nach Fig. 88 ist nun der Radius des Femurkopfkreises

$$R_f = GH \cdot \sin\gamma = 6{,}3845 \cdot \sin 15^0 \quad = \log 0{,}80512$$
$$+ \log \sin 9{,}41299$$
$$= \log 0{,}21811.$$

$R_f = 1{,}6524$ cm, also um 1 mm kleiner, als wir nach der Messung angenommen hatten.

Im Maßstab 2 : 1 der Konstruktion ist diese Fehlerquelle so verschwindend, daß wir aus der Konstruktion mit der Radiusweite $R_f = 1{,}75$ selber annehmen mußten, daß die Tangente von G aus an den Π-Kreis angelegt, den P-Kreis in der Vertikalen von P schneide.

Auf den überraschenden gleichlautenden Befund in der analytischen Zergliederung einer beliebigen männlichen und einer weiblichen Beckenform ist bereits genügend hingewiesen worden.

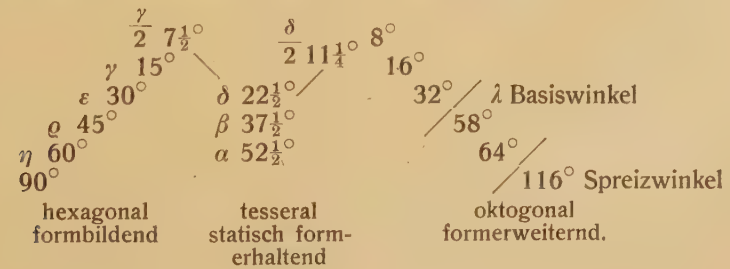
Arithmetisch und geometrisch ist das System für beide menschlichen Beckentypen dasselbe. Es beruht auf der Konstanz im Verhältnis zweier Kreisradien zueinander. Nur in der gegenseitigen Aneinanderlagerung der beiden Kreise unter Bezugnahme auf die Schwergewichtslinie, auf das statische Moment, ist ein prinzipieller Unterschied im Konstruktionsprinzip zu erkennen.

Nach diesem Satz muß auch die Winkelteilung im System der beiden Geschlechtstypen der menschlichen Beckenform völlig übereinstimmen und es ist nicht mehr verwunderlich, wenn wir die geometrische Funktion des männlichen Systems auch im weiblichen System wiederfinden, nämlich:

$\frac{\gamma}{2}$	γ	δ	ε	β	ϱ	α	η	(s. B. S. 9 u. 12).
$7\frac{1}{2}°$	$15°$	$22\frac{1}{2}°$	$30°$	$37\frac{1}{2}°$	$45°$	$52\frac{1}{2}°$	$60°$	

Daneben haben wir freilich im weiblichen Basisdreieck den neuen Basiswinkel $= 32°$ gefunden, der nicht in das obige System hinein paßt und der mit dem Spreizwinkel ($= 116°$) selber ein eigenes System im Rahmen des andern und unabhängig von dem letztern zu bilden scheint. Der kleinste Teiler des neuen Systems weicht von demjenigen des andern $\left(\frac{\gamma}{2}\right)$ um $\frac{1}{2}°$ ab. Es ist der Funktionär des Achteckes. $90° : 8 = 11\frac{1}{4} = \frac{\delta}{2}$.

Stellen wir die Winkelreihen wieder nebeneinander:



c) Das physikalische System des weiblichen Beckentypus.

Unser weiteres Vorgehen lehnen wir an die bei der Untersuchung des männlichen Beckentypus gemachten Erfahrungen an. Es wird auch an der weiblichen Form von Vorteil sein, wenn wir von der rein mathematischen Abstraktion zunächst absehen und uns unter Hinweis auf die funktionelle Bedeutung der projizierten Beckenpunkte, Linien und Winkel diese im Fernern nicht mehr als bloße mathematische Größen ins Auge fassen, sondern als Größen eines virtuellen dynamisch arbeitenden Systems.

Dabei kommen uns die früher gemachten physikalischen Experimente zustatten. Auf diesen fußend können wir leichter gewisse Analogien mit dem männlichen Typus herausfinden und für abweichende Verhältnisse einen Kausalkonnex zur Erklärung herbeiziehen.

Da AE die projektionstechnische Darstellung der Beckenausgangsebene darstellt, in deren Verlängerung die Symphysis sacro-coccygea liegt, während die Projektionslinie AB der Innenwand der Schambeinfläche (Symphysenebene) entspricht, so sind diese beiden Ebenen zur horizontalen Grundebene Γ_3 gleich geneigt, denn sie stehen unter dem gleichen Winkel zur y_1-Achse:

$$\underline{\angle \lambda = \angle \lambda'}$$

(B. S. 47) im gleichschenkligen Basisdreieck OLA. Symphysenebene und Beckenausgangsebene haben beim weiblichen Beckentypus gleiche Neigung.

Wir errichten auf der Mitte von AF, wie von AB die Perpendikel; sie schneiden sich im Punkte M. Dadurch werden AF und AB zu Sehnen in einem Kreise, dessen Peripherie durch die Punkte B, A und F geht und dessen Mittelpunkt in M liegt.

Konstruktionell läßt sich nun nachweisen — wir führen die Originalzeichnung wieder im doppelt vergrößerten Maßstab —, daß diese Kreisperipherie im weitern Verlaufe auch durch den Projektionspunkt K geht, ($K_z = 12{,}5$; $K_y = 15{,}0$; s. Taf. VIII), während der Viereckspunkt K_1 höher und innerhalb dieser Kreisperipherie zu liegen kommt. Die Kreuzbeinkontur KKF erscheint also beim Weibe in K gebrochen in der Weise, daß die Linie KK auf der Peripherie des P-Kreises liegt, während KF als Peripherieabschnitt des M-Kreises auftritt.

Als gleichwertig mit dem M-Kreis (männlich) haben wir bereits den Φ-Kreis kennen gelernt und auf dessen Peripherie liegend die Punkte G, O und L, und, wie wir aus der Konstruktion weiter ersehen werden, auch den Projektionspunkt H^k; H^l kommt auf den P-Kreis (oder auch höher) zu liegen.

Der weibliche Beckentypus braucht also zu seiner Konstruktion wenigstens drei Kreise, während der männliche mit zweien auskommt.

Zur systematischen Orientierung des wichtigen Beckendreieckpunktes J (Spitze des Proc. spin. des letzten Lendenwirbels) auf Γ_1 verlängere ich das Perpendikel TM (Tafel IX) der Symphysenebene AB über M hinaus und verbinde C (äußerer Symphysenpunkt) mit Π, dem Projektionspunkt der Drehachse. Wo die Verlängerung dieser Linie die verlängerte Linie TM schneidet, liegt J.

Von diesem Punkte J lassen sich als Außenpunkt des P-Kreises zwei Tangentenlinien ziehen, die stets gleich lang sind. Bemerkenswert ist aber, daß unsere beiden von J aus an den P-Kreis gezogenen Tangenten auch senkrecht aufeinander stehen.

Danach ist der Tangentenabschnitt beiderseits bis zum Berührungspunkt gemessen = dem Radius des tangierten Kreises, also = $Rp = 7{,}94$ cm.

α. Konstruktion des Beckendaches.

Dem Umstande, daß beim weiblichen Beckentypus der Projektionspunkt A auf die Verbindungslinie des Ordinatennullpunktes (O) der Steißbeinfuge (EF) zu liegen kommt,

während er beim männlichen Typus auf der Verbindungsstrecke des Nullpunktes mit der Steißbeinspitze *D* liegt, scheint apriori eine prinzipielle Bedeutung beigelegt werden zu müssen. Im letztern Falle ist es der unterste Punkt des Steißbeines (*D*), der die Führung übernimmt, im erstern Falle — am weiblichen Becken — erscheint das Steißbein in der mathematischen und ebenso auch in der funktionellen Bedeutung als Wirbelsäulenpartie zurückgedrängt worden zu sein. Es ist dies wohl damit in Einklang zu bringen, daß beim Weibe nachgewiesenermaßen dem Steißbein eine viel lockere Verbindung mit dem Kreuzbeine zukommt. Als beweglicheres Skeletteil übernimmt es — wie wir im folgenden Abschnitt dartun werden — mechanistisch eine Zwischenfunktion zwischen Skelett und elastischem Beckenboden.

Wie alle Konturen der weiblichen Körperform im Vergleich zu der männlichen sich durch größere Weichheit und Rundung auszeichnen, so auch die Vorderfläche des Kreuzbeines. Es ist nicht mehr ein Winkel, den ihre Projektion auf der medianen Ebene darstellt, sondern vielmehr eine Bogen- oder Spirallinie, die sich auf die Endpunkte der Rafenlinie EH_k stützt.

Auf der Mitte dieser Rafenlinie EH_k errichten wir das Perpendikel nach unten und bezeichnen den Schnittpunkt des letztern mit der Abszisse des untern Rafenstützpunktes *E* mit *V*. *V* hat alsdann die Ordinatenkote:

$$v_z = e_z = 8{,}7 \text{ cm (s. Proj.-Tabelle IV, S. 148).}$$

Die Rafenlinie EH_k bedeutet also die Sehne für den gleichnamigen Kreuzbogenschnitt; auf ihrem Perpendikel muß irgendwo das Zentrum dieses Bogenabschnittes zu suchen sein.

β. Konstruktion des weiblichen Beckenbodens.*)

Nachdem wir bis anhin in unsern Betrachtungen der weiblichen Beckenform **das Steißbein** möglichst außer acht gelassen haben, ist hier der Ort, das Versäumte nachzuholen.

Anatomen und Geburtshelfer sind längst darüber einig, daß Stellung, wie funktionelle Bewegungsfähigkeit des weiblichen Steißbeines ganz andere sind als beim männlichen Individuum.

Ich habe oben schon darauf aufmerksam gemacht, daß nämlich das Weib eine viel lockere Steißbeinverbindung aufweist, als der Mann. Während man bei dem Letztern das Steißbein infolge seiner festern Verbindung mit der Wirbelsäule noch als funktionelles Teilstück der Letztern ansehen kann, deuten die geradlinigen Lagerelationen *O—A—E—F* der Steißbeinsymphyse beim Weibe darauf hin, daß man hier das untere Ende des Kreuzbeines funktionell als die unterste Grenze desselben betrachten muß. Das Steißbein wird beim Weibe zum funktionellen Bindestück zwischen Kreuzbein-Wirbelsäule und elastischem Beckenboden.

Bei der Γ_1-Projektion finden wir auch die Steißbeinspitze *D* nicht mehr auf dem Lote von *E*. Sie ist noch vorne angezogen und von dieser Lotlinie abgewichen, denn es ist (Projektions-Tabelle IV)

$$e_y - d_y = 13{,}75 \text{ cm} - 13{,}25 \text{ cm} = 0{,}5 \text{ cm}.$$

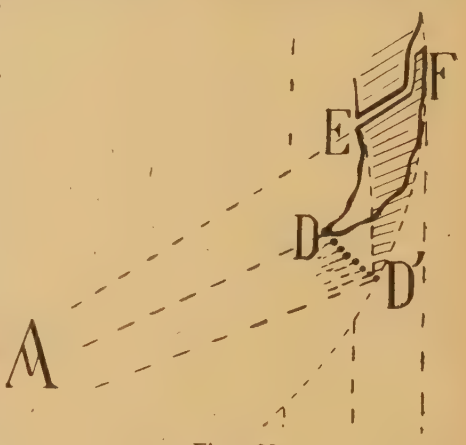
Aber nicht nur bloß in seiner Verbindung mit dem Kreuzbein weist das Os coccygeum beim weiblichen Typus eine größere Beweglichkeit auf; auch seiner inneren Konstruktion scheint eine solche zugute zu kommen, was freilich an dem skelettierten Becken nicht genügend ersichtlich ist, was aber von jedem praktischen Geburtshelfer bestätigt wird.

*) Siehe v. ARX, Der Mechanismus des Beckenbodens. Arch. f. Entw.-Mech. Bd. XXIX, 2. 1910.

Was die typische Stellung des Steißbeines anbetrifft, so kann sie:

beim Weibe als eine Zugstellung und
beim Manne als eine Streckstellung (s. Figur 89)

aufgefaßt werden. In die letztere gerät das weibliche Os coccygeum auch durch vermehrten Innendruck der Bauchhöhle, wie er z. B. in den letzten Monaten der Schwangerschaft vorkommt, wobei die Steißbeinspitze die Bewegung von D nach D' ausführt. Diese Exkursion wird am besten von einem entfernteren Fixpunkt des Beckenbodens, von A, oder auch von O aus gemessen. Der Exkursionswinkel DAD' ergibt mit dem Anzugswinkel DAE zusammen den Steißbeinwinkel $D'AE$ der gestreckten Form, welch letztere dem männlichen Steißbeinwinkel in allen Teilen adäquat ist.



Figur 89.
Anzugsstellung des Steißbeins DEF.

Die Bewegung der Spitze D nach D' über die Phasenpunkte $D_1, D_2, D_3 \ldots D'$ ist zugleich mit einer Formveränderung des Steißbeines verbunden. Dabei wird einerseits die Basislinie EF fester an ihre Unterlage (Kreuzbein) angedrückt und anderseits die innere Elastizität des Steißbeines (Zwischenknorpel) durch Zug und Kompression ausgenützt. Ein Überstrecken der Form ist nicht möglich; sie wird verhindert durch die Cornua coccygea, jene rudimentären Fortsätze des obersten Steißbeinwirbels, welchen deutlich die mechanische Funktion eines Sperrhakens zukommt. (Über die mechanische Entstehung der Cornua coccygea s. Konstruktion des Lendendreiecks.)

Faßt man nun ins Auge, daß der juvenilen Form des weiblichen Beckens der männliche Beckentypus zugrunde liegt, so hat man in ihrer spätern Formveränderung, wie sie uns auf Γ_1 entgegentritt, im Wandern der Steißbeinspitze zum ersten Mal einen sichern Anhaltspunkt gefunden, in welcher Weise diese Formveränderung mechanisch vor sich ging.

Während nämlich beim männlichen Typus das Steißbein in Streckstellung steht, so daß die Spitze D direkt in das Lot von E zu liegen kommt, finden wir sie beim weiblichen Typus davon abgedrängt und gegen A hin angezogen, also in Beugestellung. Diese Bewegung kann nur auf direkten Zug hin erfolgt sein, oder allenfalls auch durch einen äußern Druck, der in dieser Richtung hin gewirkt hätte. Dieser letztere Fall fällt außer Betracht, da unter normalen Verhältnissen eine in diesem Sinne lokal wirkende Kraft nicht nachweisbar ist. Andererseits aber hat das Steißbein in der Beckenbodenmuskulatur eine elastische Verbindung nach vorne. Auch haben wir beim männlichen Typus bereits nachgewiesen, daß der Mechanismus dieser Beckenbodenmuskulatur theoretisch sich denken läßt, als ob das elastische Organ in der Beckenbodenebene gestreckt von der Steißbeinspitze D (Fig. 89 D') bis zum Scheitelpunkt A des Angulus pubis hin verlaufen würde. Diesen Mechanismus des männlichen Beckenbodens haben wir als denjenigen einer „einfachen Federbrücke" bezeichnet mit teilweise drehbaren Auflagern in den beiden genannten Stützpunkten A und D (s. Fig. 49).

Wir hatten zunächst beabsichtigt, dem Vergleich der männlichen und weiblichen Beckenform später einen eigenen Abschnitt zu widmen; doch halten wir es des leichtern Verständnisses wegen im folgenden geboten, schon bei der Betrachtung des weiblichen Beckenbodenmechanismus den Vergleich mit dem männlichen Typus heranzuziehen.

Die Morphologie des elastischen Beckenbodens ist bei beiden Geschlechtern prinzipiell dieselbe. Das kugelförmig gewölbte **Diaphragma pelvis** besteht hier wie dort aus folgenden flächenhaft ausgebreiteten Muskeln und Faszien (Figur 60)

a) Trigonum uro-genitale,
b) M. levator ani (Port. pelvica; Port. iliaca),
c) M. ischio-coccygeus.

Das Diaphragma wird sodann noch verstärkt durch die Auflagerung von Schließmuskeln der durchtretenden Kanäle

M. constrictor ani
M. bulbo-cavernosus

und zudem beim Weibe noch durch den

M. constrictor cunni.

Prinzipiell besteht also durchaus kein Unterschied im morphologischen Bau des Beckendiaphragma bei den beiden Geschlechtern. Ein Unterschied besteht nur darin, daß dem weiblichen Beckenboden eine weitere Durchgangsöffnung in seiner vordern Hälfte zukommt. Inwieweit die Einschaltung des Scheidenausgangs in die Beckenbodenfaszie eine Schwächung des Letztern herbeizuführen vermag, lassen wir vorläufig außer Betracht.

Schon die überraschende Tatsache, daß beim männlichen Typus der Scheitelpunkt A des Angulus pubis auf der Verbindungsgeraden OD liegt, beim weiblichen Typus dagegen der Scheitelpunkt A des Arcus pubis auf OE zu liegen kommt, muß stutzig machen. Im erstern Falle scheint somit dem Projektionspunkt D, im zweiten dem höher gelegenen Punkte E der mechanische Vorrang zuzufallen. Zudem fällt uns jetzt auf, daß dem Projektionspunkte E bei beiden Typen ein und dieselbe Ordinatenkote zukommt. Es ist nämlich (nach Proj.-Tabelle I und IV) in beiden Fällen

$$e_z = 8{,}7 \text{ cm},$$

obgleich die Beckenbasis b bei beiden Typen nicht völlig dieselbe ist (13,5 cm und 13,75 cm).

Wir haben auch bereits eine Erklärung für das abweichende Verhalten darin gefunden, daß wir gesagt haben: das nach vorn angezogene und so gelockerte weibliche Steißbein übernimmt eine Zwischenfunktion zwischen Diaphragma pelvis und Wirbelsäule. Zum Beweis für diese Behauptung kehren wir zu Figur 89 zurück.

Zu der D-Stellung der Steißbeinspitze gehört die Beckenbodenebene, welche projektivisch durch die Gerade AD wiedergegeben erscheint. Jede weitere Exkursionsphase von D, also D_1, D_2 und D_3 hat ihre eigene Beckenbodenebene (AD_1, AD_2 usw.). Das geht so lange fort, bis die Steißbeinspitze auf dem Peripheriepunkte D' des großen Kreisbogens $FD'A$ angelangt und das mechanische Gleichgewicht — dem männlichen Typus analog — hergestellt ist.

Auf die Mitte der Sehnen AD, AD_1, AD_2 — AF konstruieren wir nun die Mittelsenkrechten. Diese Mittellote geben mit dem Tiefertreten des Punktes D und ihrer Spitze einen Ausschlag nach hinten, während gleichzeitig das Lot der Steißbeinkrümmung ED, ED_1 ... sich in umgekehrtem Sinne nach abwärts bewegt.

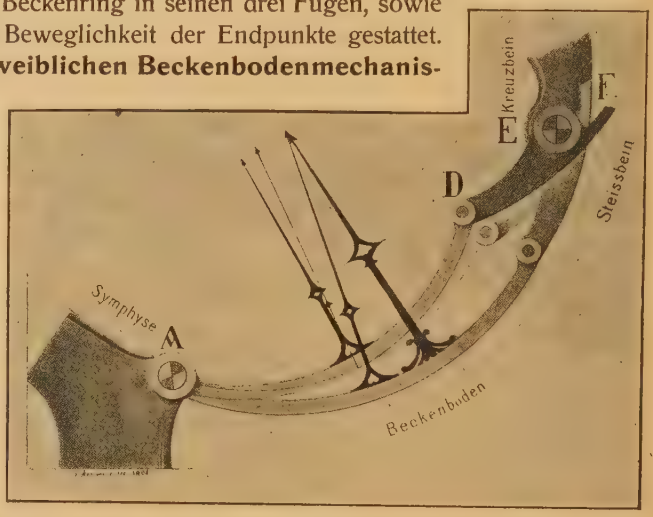
Ist aber einmal die Spitze D auf dem Bogen $FD'A$ angelangt, dann ist auch die Länge DF in die Peripherie dieses Bogenstückes AF eingeschaltet, für welches das Mittellot auf AF maßgebend ist.

Ich habe versucht, in Figur 90 diese mechanischen Verhältnisse wieder technisch zu konstruieren, wobei jedoch wieder bemerkt werden muß, daß es konstruktionell unmöglich

ist, am technisch wenig biegsamen Material die vorhandene Elastizität des Beckenbodens hinlänglich zur Anschauung zu bringen. Es mag aber genügen, den bestehenden Mechanismus im Prinzip nachgewiesen zu haben.

Demnach sind zwei feste Punkte (A und E) überbrückt durch zwei Federn (AD und DE), die in der Mitte durch ein Scharnier (D) verbunden sind. Die Auflager A und E sind zum Teil drehbar, indem der Beckenring in seinen drei Fugen, sowie in seiner Elastizität eine gewisse Beweglichkeit der Endpunkte gestattet.

B.S. 53. **Wir haben es also beim weiblichen Beckenbodenmechanismus im Prinzip mit einer Doppel-Federbrücke zu tun mit teilweise drehbaren Widerlagern und mittlerem Scharnier.**



Figur 90.
Der Doppelfedermechanismus des weiblichen Beckenbodens.

Dabei ist der größere Brückenbogen AD auch von größerer Elastizität als der kleinere DE, welcher größere Festigkeit zeigt. Bei kleineren Druckschwankungen wird daher nur der Erstere beansprucht, so daß der Punkt D mit dem kleinern Bogen DE noch in Ruhe bleibt. In diesem Falle gehört der Steißbeinbogen DE funktionell noch zur feststehenden Wirbelsäule. Auch auf die für diesen Mechanismus notwendige Sperrhaken-Vorrichtung habe ich unter Hinweis auf die Cornua coccygea bereits aufmerksam gemacht. Gerade in dieser Anordnung ersehen wir den strikten Beweis für die Richtigkeit unserer Auffassung, ganz abgesehen vom ätiologischen Nachweis in der Konstruktion des Lendenknicks.

Die Lote aller Sehnen in einem Kreise, wie wir dieselben auch legen mögen, treffen sich aber stets im Mittelpunkt des Kreises.

Aus diesem bekannten Lehrsatz der Geometrie geht hervor, daß auch die Lote, die wir auf der Mitte von AF und AD' errichten, im Kreismittelpunkt M zusammenlaufen; denn A, D', F sind Peripheriepunkte dieses Kreises. M gilt also als Mittelpunkt sowohl für den Steißbeinabschnitt $D'F$, wie für den Diaphragmaabschnitt AD' bei maximalster Spannung desselben.

Im Vergleich zum einfachen Federbrückenmechanismus des männlichen Beckenbodens finden wir somit den Mechanismus der Doppelfeder im weiblichen Typus wesentlich komplizierter, wenn gleich auf den ersten Blick die anatomischen und funktionellen Verhältnisse nicht so weit auseinander zu gehen scheinen. Der weibliche Damm-Mechanismus kann aber nur richtig gewürdigt werden in Zusammenhang mit der Genese, Morphologie und mechanischen Funktion der spezifisch weiblichen Nachbarorgane: des weiblichen Urogenitalapparates. Aus praktischen Gründen räumen wir hierfür einen besondern Abschnitt ein (s. auch Zweiter Teil, B. III. 6. Topographie der Beckeneingeweide im Lichte des mathematischen Systems). Fußt doch die ganze moderne Gynäkologie in erster und letzter Linie stets wieder auf dem richtigen Verständnis dieser freilich komplexen, im Grunde aber doch wieder rein physikalischen Vorgänge!

γ. Blase und Uterus und ihre gegenseitigen Lagebeziehungen.

Aus dem mathematischen und mechanischen System, das sich bis jetzt aus dem seitlichen Projektionsbild unserer weiblichen Form ableiten ließ, greifen wir zwei Tatsachen heraus, die uns zunächst als die wichtigsten erscheinen.

1. Das gleichschenklige Basisdreieck mit den gleichen Winkeln λ und λ', als dessen verlängerte Dreieckseiten erscheinen: die Spuren der Symphysenebene (AB) und der Beckenbodenebene AE. Diese beiden Ebenen sind somit zur Horizontalen gleich geneigt (Figur 86). Sie sind mechanisch gleichwertige „schiefe Ebenen".
2. Der Mechanismus des weiblichen Beckenbodens ist der einer Doppelfeder mit beweglichem mittlerem Scharnier.

Mit diesen beiden Sätzen glaube ich die wichtigsten Momente der Formgestaltung des weiblichen Beckenbodentypus bereits fixiert zu haben. Doch wollen wir uns damit nicht begnügen.

Zunächst wollen wir uns die Frage vorlegen und zu beantworten suchen:

Wo hat man sich weiblicherseits die Lage des Zentrums U_1 und U_2 der Minimal- und Maximalkugel der Blase zu denken und wie groß gestalten sich die zugehörigen Radien u_1 und u_2?

Die Beantwortung dieser Frage ist nach den vorausgegangenen Beobachtungen leichter, als dies männlicherseits der Fall gewesen.

Die beiden Stützebenen (Figur 57) der Kugel, AB und AE (Tafel IX) sind gleich geneigt; denn es ist $\angle \lambda = \angle \lambda' = 32^\circ$ (B. S. 48). Die Halbierungsgerade $A\Pi$ des Spreizwinkels BAE, auf welcher das Zentrum der Kugel bei jedem Füllungsgrad gesucht werden muß, steht also vertikal. Wir bezeichneten diese Halbierungslinie als „Steiglinie". Jeder Punkt derselben kann Zentrumspunkt der Blase sein, da er stets zu beiden Neigungsebenen gleichen Abstand hat. Als Zentrumslage für den Minimalkreis wähle ich von vorneherein wieder einen Punkt von hervorragender Bedeutung, dessen zugehöriger Radius (u_1) ungefähr demjenigen beim männlichen Typus in der Länge (2,95 cm) entspricht.

Als solcher Stützpunkt qualifiziert sich der Schnittpunkt der Steiglinie $A\Pi$ mit dem Perpendikel, das auf der Mitte T der Symphysenlinie AB errichtet ist. Ich ziehe von diesem Zentrum U_1 einen Kreis so, daß er AB und AE tangiert und berechne nun den Radius u_1 dieses Minimalkreises wie folgt:

$$\angle BAE = 180^\circ - (2 \times 32^\circ) = 116^\circ$$

$$\angle BAU_1 = \frac{116^\circ}{2} = 58^\circ; \quad \angle AU_1T = 32^\circ$$

$$BA = 3{,}77 \text{ cm (s. B. S. 51)}$$

$$\underline{AT = \frac{BA}{2} = 1{,}88 \text{ cm}.}$$

Setze ich im Dreiek TAU_1

$$TU_1 = u_1 = x,$$

so ist:

$$x = \frac{AT}{\operatorname{tg} 32^\circ} = \frac{188 \text{ cm}}{\operatorname{tg} 32^\circ} = \begin{array}{l} \log 0{,}27415 \\ -\log \operatorname{tg} 9{,}79578 \\ = \log 0{,}47837 = 3{,}00 \text{ cm} \end{array}$$

$$\underline{u_1 = 3{,}00 \text{ cm}.}$$

Ferner ist in demselben Dreieck TAU_1

$$(AU_1)^2 = (3{,}00)^2 + (1{,}88)^2,$$

oder

$$\underline{AU_1 = 3{,}54 \text{ cm}}$$

U_1 hat danach die Ordinatenkote

$$\text{auf der } z\text{-Achse} = AU_1 + a_z = 3{,}54 + 2{,}5 = 6{,}0 \text{ cm}$$
$$\text{auf der } y\text{-Achse} = a_y = 4{,}0 \text{ cm}.$$

Zur Bestimmung der Zentrumslage für den Maximalkreis kommen folgende Erwägungen in Betracht:

U_2 liegt wieder irgendwo weiter oben auf der Steiglinie $A\,\Pi$. Der nächstfolgende Hauptpunkt über U_1 ist der Punkt Φ, der zweitnächste der Projektionspunkt der Drehachse Π. Beide Punkte sind konstruktionell von hervorragender Bedeutung, der erstere als Zentrum des ausweitenden Φ-Kreises, der zweite als Sitz der gewanderten Drehachse. Die Höhenkoten beider Punkte sind uns bekannt. Es ist

$$\Phi' = D' = 6{,}875 \text{ cm} = \frac{b}{2}$$
$$\Pi' = E' = 8{,}7 \text{ cm } (8{,}6)$$

Um als Zentrum der maximalen Blasenkugel angesprochen zu werden, erscheint aber Π bereits etwas zu hoch gelegen, sobald man ins Auge faßt, daß im weiblichen Becken zwischen Blase und Rektum noch der Uterus Platz finden muß, wodurch der Raum, der eine Kugelform der Blase eben noch zuläßt, erheblich beschränkt wird.

Ich will an dieser Stelle auch gleich einschieben, daß die Auffassung und Darstellungsweise einzelner Gynäkologen über diesen Gegenstand ungenau sind. Danach würde die gefüllte Blase den Uterus in seiner Gesamtheit nach hinten treiben, so daß er mit der Hinterfläche direkt an das Rektum zu liegen käme. Ich habe schon früher an der Leiche*) wie an der Lebenden experimental nachgewiesen, daß dem nicht so ist, daß man vielmehr die Urinblase ad maximum füllen kann, so daß ihre Spitze sogar Nabelhöhe erreicht; niemals aber hat sich der Uterus bei intakten Mutterbändern so weit nach hinten disloziert. Die Bänder (lig. rotunda) legen sich dabei so straff beiderseits um die Blase, daß diese hier sehr bald eine Einschnürung erleidet und ihre Eiform, die sich sonst männlicherweise aus der Kugelform entwickelt, in eine „Sanduhrform" umgewandelt sieht. An der Leiche soll aber das Experiment vor Eintritt der Totenstarre gemacht werden. Dabei füllt sich der DOUGLASsche Raum mit den Darmschlingen, die durch die gefüllte Blase aus der Bauchhöhle verdrängt werden, während sich der Uterus langgestreckt und etwas gedehnt der umschnürten untern Blasenhälfte anschmiegt.

AB und AE sind aber nicht nur in ihrer Lage, sondern auch in ihrer Länge bestimmt. Dem Perpendikel T auf AB ist dasjenige auf AE in gewissem Sinne adäquat. Beide treffen sich in N. Dieser wichtige Schnittpunkt bleibt aber (s. u.) als Drehpunkt für den Fundus uteri reserviert. Ein Kreis jedoch, dessen Zentrum in Π läge, überragt aber diesen Punkt N beträchtlich. Aus diesem Grunde fällt die Lage des Drehpunktes Π vor unserer Kritik als Zentrum des Kugelmaximums bereits außer Betracht. Nicht so der Punkt Φ.

Ziehen wir also von Φ einen Blasenkreis so, daß er AB und AE tangiert, so geht nach unserer Konstruktion seine Peripherie genau durch den Perpendikelschnittpunkt N, berührt also eben noch die Interessensphäre des Gebärorgans. Ich betrachte daher das Blasenkugelmaximum mit dem Zentrum U_2 in Φ vorläufig durch diesen Φ-Kreis festgestellt und berechne seinen Radius u_2 wie folgt:

Es ist

$$\underline{AU_2} = A\Phi = 6{,}875 \text{ cm} - 2{,}5 \text{ cm} = \underline{4{,}375 \text{ cm}}$$
$$\angle BAU_2 = 58^\circ = \frac{116^\circ}{2}.$$

*) Corr. f. Schweiz. A. 1896. Nr. 13.

Da die Kreisperipherie BA tangiert, so ist sein Radius $u_2 = x$ gesetzt:
$x = A\,U_2 \cdot \sin 58^\circ = 4{,}375\text{ cm} \cdot \sin 58^\circ$.

$= \log \quad 0{,}640978$
$+ \log \sin \quad 9{,}928420$
$= \log \quad 0{,}569398$

$u_2 = 3{,}71$ cm.

Damit wären die wichtigsten Werte in der Berechnung der topographischen Korrelationen aus den vorhandenen Größenverhältnisse gewonnen und wir kehren damit zur nähern Betrachtung der maschinellen Anlage selber zurück.

Der Wert einer Maschine kann erst dann richtig gewürdigt werden, wenn wir sie mit andern ähnlich funktionierenden Apparaten in Vergleich und dadurch ihre Einrichtungen und ihre Funktionstüchtigkeit auf die Probe setzen. Es wird dabei entschieden von Vorteil sein, auch den Gang ihrer Entwicklung zu kennen. Daher möge uns auch hier ein kurzer Exkurs in die Literatur der Entwicklungsgeschichte gestattet sein.

Die ganze Beckenform des Menschen ist anfänglich, ebensogut wie die ursprüngliche Anlage des ganzen Urogenitalsystems geschlechtlich undifferenziert. Die Formunterschiede beider Geschlechter der Beckenform sind bei jugendlichen Früchten verschwindend klein und keineswegs konstant. Darin stimmen die Untersuchungen aller Autoren überein; die eigentliche geschlechtliche Differenzierung tritt am menschlichen Becken erst auf zur Zeit der Pubertät des Individuums, wobei das männliche seinen jugendlichen Typus so ziemlich beibehält, das weibliche dagegen mit der Entwicklung der äußern und innern Genitalien allmählich in den weiblichen Typus übergeht. Sollte hierin nicht ein vorhandener Kausalkonnex zu vermuten sein? —

Wenn wir die genetische Entwicklung des weiblichen Urogenialtraktus an der Hand der Ergebnisse neuester Forschungen nach rückwärts verfolgen wollen, so brauchen wir nicht zu den Uranfängen derselben zurückzugehen, sondern nur bis zum zweitersten Entwicklungsstadium, d. h. bis zu dem Momente, wo der MÜLLERsche Gang, zum Eileiter geworden, vollkommen entwickelt vor uns liegt. Der WOLFFsche Gang funktioniert zu dieser Zeit nur noch als Harnleiter. Beide Stränge sind streng geschieden und vereinigen sich erst in ihrem untersten Verlaufe in der Kloake.

Am meisten interessiert es uns nun, das Leistenband zu verfolgen, das von der Urniere nach abwärts verläuft, während sein Antagonist, das Zwerchfellband nach aufwärts geht. Dieses Leistenband, das bekanntlich später zum Lig. rotundum uteri wird, ist bereits ein deutlich differenziertes morphologisches Gebilde geworden, mit welchen das Peritoneum rechnen muß. Es ist dies schon daraus zu ersehen, daß es beiderseits faltig über dieses bestehende Band hinweggestülpt wird.

Das Leistenband wächst sodann in den ausgestülpten Peritoneumssack des Leistenkanals (Proc. vaginalis peritonei) hinein. Daß aber bei all diesen Entwicklungsvorgängen in erster Linie rein mechanische Momente im Spiele sind, ist nach allem, was wir oben bei der Entstehung des Lendenknicks usw. gesehen, nicht mehr zweifelhaft. Ich meine darunter Spannungsausgleiche infolge ungleichmäßiger Imbibition und Wachstumsfähigkeit der Zellen und Zellgewebe überhaupt, und daraus resultierend verschiedenartige Druck- und Widerstandsmomente.

Für unsere weitern Betrachtungen genügt es, darauf hingewiesen zu haben, daß das Lig. rotundum bereits ein frühembryonales Gebilde ist, das mit dem MÜLLERschen Gang in Verbindung steht. Andere Verbindungen als diesen Doppelstrang kennen die MÜLLERschen Gänge nicht, denn sie stellen vom obersten Ende des Eileiters bis zur Ein-

mündung in die Kloake isolierte Gänge dar. An ihrer Vereinigungsstelle, sowie unterhalb derselben verdickt sich das gemeinsame Stück zum Uterus. (S. Fig. 29 *A*, *u.*)

Auf welche mechanischen Momente beim menschlichen Embryo das Verschwinden der Kloake zurückzuführen ist, haben wir bereits beim männlichen Typus (s. B. S. 20 u. f.) erörtert. Es ist der relativ vermehrte Druck in der Richtung der Längsachse der Frucht, welcher auch alle andern spezifisch anthropomorphen Erscheinungen erklärt. So sind namentlich auch sämtliche anatomischen Veränderungen, die wir in der Folge bis zum völligen Verschwinden der Kloake am hintern Leibesende der weiblichen Frucht wahrnehmen, durchaus eindeutig und durch gesteigerten äußern Längsdruck gegenüber vermehrtem innern Widerstand zu erklären. Das Leibesende verkürzt sich infolgedessen, die Widerstand leistenden Septen werden verbreitert, „gequetscht" und geben in dieser Dammbildung bereits mechanische Stützpunkte ab für die weitere Formbildung der Beckeneingeweide (Fig. 29 *A*, *B*, *C*).

Schon die Dreiecksform des Mittelfleisches, wie ich sie in Fig. 29 *C* nach eigenen Präparaten dargestellt habe, spricht für unsere vereinfachte Anschauungsweise und gegen die Auffassung, wonach die Kloake verschwindet durch das „aktive Heranwachsen" des Mittelfleisches nach außen hin. Die Formbildung des Dammes ist also eher ein passiver Vorgang und entstanden durch den Ausgleich äußerer und innerer Kräfte (Uterindruck — innerer Widerstand).

Nach vollendeter Schließung des Beckenrings liegt der größere Teil des Urachusschlauches überhalb desselben und ebenso auch der untere Teil des Urogenitalapparates, der Fruchtleiter. Durch die genannte Verkürzung der embryonalen Längsachse bzw. durch die relative Vergrößerung des Querdurchmessers der Frucht und die später dadurch bedingte Bildung des Lendenknickes bleibt der ganze Urogenitaltraktus auf der Ventralseite der Frucht liegen, während das Rektum der Dorsalseite folgt. Auf diese Weise werden Uterus und Rektum mechanisch auseinander getrieben; das Peritoneum tritt passiv zwischen beide hinein — — es erfolgt die Bildung des DOUGLASschen Raums. In analoger Weise, jedoch in weit geringerem Maße, erfolgt die Diastase zwischen Urachus und Uterus, die Bildung des vordern peritonealen Rezessus, der Excavatio vesicouterina. Das wenigstens scheint mir unbestritten zu sein: Dem Bandapparat der Lig. rotunda kommt in dieser Zeit der Entwicklung noch keine haltende oder gar zügelnde Funktion zu; sie erfolgt wahrscheinlich erst beim Auftreten der Pubertät. Die MÜLLERschen Gänge und ihre Abkömmlinge bleiben also vorläufig mit dem Urachus nur durch die Einwirkung äußerer mechanischer Kräfte miteinander vergesellschaftet und verbunden.

Mit diesen wenigen Strichen glaube ich die Grundlinien des Uterusmechanismus bereits gezogen zu haben. Wir dürfen daher das Gebiet der Entwicklungsgeschichte wieder verlassen, um zu den Verhältnissen beim erwachsenen Weibe zurückzukehren.

Diese spezifisch weiblichen Verhältnisse entwickeln sich nun aber nicht mit einem Male, sondern nur allmählich im Verlaufe von Monaten und Jahren. Schon die Untersuchungen über die topographische Lage von Blase und Uterus deuten darauf hin. Die begleitende Beckenausweitung tritt ebenso unvermerkt und allmählich auf.

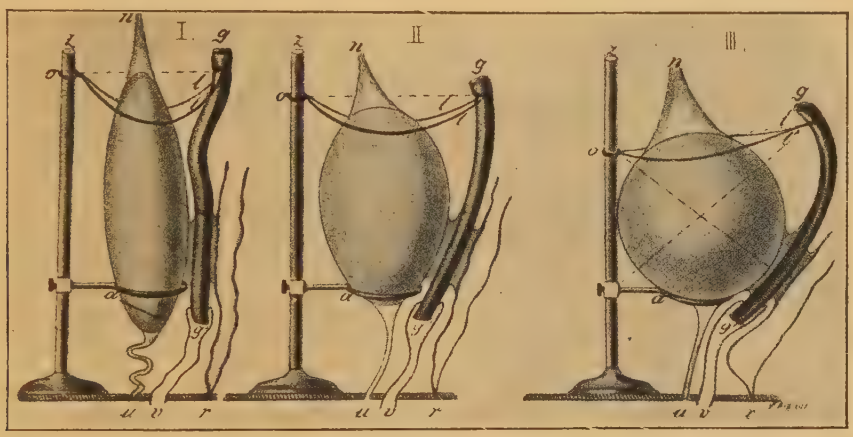
Leider fehlen meines Wissen systematische Untersuchungen über diesen Vorgang, ich meine den Übergang von der juvenil weiblichen Beckenform zum ausgesprochenen weiblichen Beckentypus so gut wie gänzlich. Gerade in einer solchen Untersuchung wären die besten Anhaltspunkte zu finden dafür, in welcher Weise diese Veränderung vor sich geht. Wir werden uns daher in anderer Weise behelfen müssen — — vielleicht nicht zum

Schaden des Ganzen! Hat ja doch der Methodik in der Darstellung bis anhin die mathematische Genauigkeit, wenn auch nicht eine genügende Übersicht und Anschaulichkeit gefehlt.

Vorher jedoch nehmen wir nochmals zum physikalischen Experiment unsere Zuflucht, indem wir wieder versuchen, die dynamischen Verhältnisse, wie sie uns in der Entwicklungsgeschichte vor Augen getreten, auf rein physikalischem Wege nachzuahmen, wobei wir die morphologischen Organe: Blase und Uterus durch das elastische Kautschukmaterial, den Blaseninhalt aber durch eine beliebige tropfbare Flüssigkeit ersetzt denken.

Experiment X. **Exp. X.**

In der Vorbereitung dieses Versuches kommen wir aus mit ein paar Gummischläuchen von verschiedenem Kaliber, Elastizitätsgrad, Wandstärke, einigen Schnüren und einem Stativ mit verschiebbarem Stellring.



Figur 91 I, II, III.

Relation zwischen lebendiger Kraft und Elastizität. Entstehung der Form und Lage des Uterus in situ. *nu* = Urachusschlauch in verschiedengradiger Füllung I, II, III. *ol*, *ol'* = Lig. rotunda; *gg'* = Uterus (einarmiger elastischer Hebel); *v* = Vagina; *r* = Rektum; *a* = Auflagepunkt.

Anordnung und Verlauf des Experimentes sind aus Figur 91 ohne weiteren Kommentar ersichtlich.

In einem durchlochten Karton, der auf der Tischplatte aufruht, sind die Enden dreier dünnwandiger elastischer Schläuche *u*, *v*, *r* befestigt. Der eine hiervon geht durch den Stellring hindurch und ist in einem beweglichen Punkt *n* frei aufgehängt. Der zweite kürzere, ungefähr von $^2/_3$ Länge des erstern, ist in seinem untern Ende *g'* in das schwächere Gummirohr *v* gestülpt und oben mit zwei gleichlangen Schnüren *l* und *l'* an einem beweglichen Stativring *o* befestigt, während ihm unten eine Verbindung mit den Schläuchen *u* und *r* zukommt; hinten lehnt sich dabei der Schlauch *r* frei an eine Wand an.

Was wir mit diesem Dreischlauchsystem darstellen wollen, ist unschwer zu erraten. Das Analogon dazu ist schon in Figur 29 A, B, C gegeben.

Durch Experiment X suchen wir in ähnlicher Weise, wie wir das bereits im Experiment II–IV mit Erfolg getan haben, die Einwirkung äußerer und eingeschlossener Druck- und Spannkräfte auf die Formbildung und Formgestaltung kombinierter elastischer Hüllensysteme klarzulegen, die wir uns an die Stelle morphologischer Körperteile gesetzt denken.

Es kommt uns dabei nur auf das Auffinden möglichst vieler Faktoren an in der Wirkung einfacher Kräfte, ihrer Zugs- und Druckrichtung einerseits und den Widerstandskräften der elastischen Hüllen anderseits, als deren Reaktion ihre Formbildung erscheint.

Betrachten wir einmal diese Reaktion bei der Füllung eines einfachen Gummischlauches von dünner Wandung mit einer tropfbaren Flüssigkeit.

a) Der Schlauch *nu* hänge vertikal und sei oben und unten eingespannt (s. Fig. 91 *nu*). Im zusammengefallenen Schlauch wird der Widerstand der Luft des freifallenden Tropfens durch die Reibung an der Schlauchwand ersetzt. Dieser Reibungswiderstand kann so groß sein, daß er die Schnelligkeit der fallenden Wassermasse übersteigt. In diesem Falle wird die Elastizität der Schlauchwand in Anspruch genommen: der Schlauch buchtet sich aus, und zwar da am meisten, wo sein eigener Widerstand am schwächsten, seine Elastizität am größten ist. Es kommt nun zu einem Spannungsausgleich, wobei sich die Druck- bzw. Zugskraft der Wassermasse mit der Elastizitätskraft der Schlauchwandung in Ausgleich setzt, gleich wie in Experiment II—IV. Als Resultante dieses Spannungsausgleiches zwischen flüssigem Inhalt und elastischem Gefäß erscheint die Form des letztern. Überwiegt der innere Druck die Festigkeit der äußeren Umhüllung vollständig, so resultiert am Ende die Kugelform, d. h. die gleiche Form, in der auch Minimalmengen von Flüssigkeiten bei gleichmäßiger äußerer Spannung erscheinen (Tropfenform).

Im vertikal hängenden Schlauch *nu* ist die Fallrichtung des fallenden Tropfens stets die gleiche und damit auch die Dehnungsrichtung des Schlauches infolge des Reibungswiderstandes. Es ist die Richtung der Schwerkraft, die wir uns von *n* nach *u* hin gerichtet zu denken haben.

Die Zugsrichtung erfolgt in der Richtung der Schlauchachse. Beide Hälften eines beliebigen Querschnittes werden gleich beansprucht.

b) Der Schlauch sei zwischen *n* und *u* horizontal ausgespannt. Bei Füllung des Schlauches wird die untere Hälfte des Schlauches durch die Belastung mehr in Anspruch genommen als die obere. Das hydrostatische Moment dieses Schlauches gleicht der Belastung eines auf beiden Enden eingeschraubten Stabes von gleicher Länge und gleichem Elastizitätskoeffizienten. Die Zugskraft erfolgt in der Mitte der horizontalen Schlauchachse in der Richtung der Schwergewichtslinie. Die Beanspruchung der untern Schlauchwand und Dehnung ist daher eine größere als die der obern.

c) Der Schlauch sei schief geneigt eingespannt. Die einseitige Beanspruchung der untern Wandung ist dann um so größer, je kleiner der Neigungswinkel ist, den die Schlauchachse zur Horizontalen einnimmt (Fallgesetz auf der schiefen Ebene, siehe Experiment V). Die Dehnung des Schlauches erfolgt am tiefstliegenden bzw. nachgiebigsten Punkte.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen über die Richtungsmöglichkeit der Schlauchachse *nu* (Urachusachse) gehen wir zum Experiment selber über.

Mit der Wandung dieses Schlauches *nu* ist an einer begrenzten Stelle das eine Ende g' eines dickeren Gummistabes oder Gummirohres verbunden in der Weise, daß es hier alle Bewegungen, welche der Berührungspunkt bei wechselnder Füllung des Schlauches erleidet, selber mitmacht. Das andere obere Ende *g* ist frei und nur durch eine Schnurschlinge in seinen Bewegungen etwas gehemmt.

Wird dieser Zügelapparat außer Funktion gesetzt, so steht das Gummirohr im Berührungspunkte g' stets in Tangentialstellung zur Oberfläche der gefüllten Schlauchform; das obere Ende des Gummistabes ändert mit wechselnder Füllung des Schlauches seine stetsfort gestreckte Stellung und Lage.

Läßt man aber den Zügelapparat l und l' in Funktion treten, so erhält damit der Gummistab an seinem obern Ende einen gewissen eigenen Halt. Er sieht sich in seiner freien Tangentialbewegung gehemmt und tritt nun mit seiner Elastizitätskraft in Wechselbeziehung zur Stoßkraft, welche an seinem untern Ende g' die Füllung des Schlauches auf ihn ausübt (Angriffspunkt der Last). Der Gummistab wird zum elastischen *einarmigen* Hebel, sein oberes Ende zum *relativ* beweglichen Drehpunkt. Der Hebelarm der Kraft kommt dabei irgendwo zwischen Drehpunkt und Angriffspunkt der Last zu liegen. Die Folge des Zusammenwirkens verschiedener Kräfte an dieser kombinierten Maschine ist die Spannung des elastischen Hebelarms, der so zur gespannten Feder wird, die als einfache Maschine imstande ist, eine beträchtliche mechanische Arbeit zu leisten.

Befestigen wir im Experiment den Zügelapparat ll' nicht fest an unserm Stativ, sondern an einem beweglichen und verschiebbaren kleinen Ring o, so liegt der einzige fixe Stützpunkt des ganzen experimentellen Apparates in dem Tragring a, auf welchen die gefüllte Blase zu liegen kommt.

Dieser physikalische Versuch wird dazu dienen, die mechanische *Wechselbeziehung zwischen den beiden Organen Urinblase und Uterus* näher zu beleuchten und das Rätsel zu lösen, das B. S. SCHULTZE über die Beziehungen von normaler Form und Lage des menschlichen Gebärorganes in situ s. Zt. aufgestellt hat. Und es wird denjenigen recht geben, welche seither von Zeit zu Zeit den schüchternen Versuch gewagt haben, die Behauptung aufzustellen, es möchte doch dem Uterus etwelcher Anteil an der Gestaltbildung des weiblichen Beckens zukommen.

δ) Die Wanderung der Drehachse.

Legt man das Projektionsbild des männlichen und des weiblichen Beckens auf Γ_1 vergleichsweise nebeneinander, so sticht uns auf diese Weise die Wanderung des Projektionspunktes der Drehachse rasch in die Augen. Beim männlichen Typus liegt dieser Punkt P (Tafel I und II) noch im Schnittpunkt der Diagonalen des Beckenvierecks, beim weiblichen Typus finden wir II stark nach vorn oben verschoben (Tafel VIII und XI).

Die Lehrbücher der Anatomie geben uns darüber nur ungenügenden Aufschluß, obgleich s. Z. schon LITZMANN Angaben gemacht hatte, die mit unsern Untersuchungen in Einklang stehen. Erst in den folgenden Kapiteln wird es uns aber möglich sein, diese Wanderung der Drehachse richtig zu begründen, obgleich die ursächlichen Momente bereits im Vorhergegangenen enthalten sind. Den Projektionspunkt der Drehachse haben wir beim weiblichen Typus mit II bezeichnet zum Unterschied desjenigen (P) am männlichen Typus, da den beiden andere Lagerelationen zukommen. Wir fanden nämlich, wie bereits erwähnt, den Punkt II auf Γ_1 nach vorn oben verschoben und direkt über den Scheitelpunkt A des Arcus pubis versetzt; seine Ordinatenhöhe ist diejenige von E, denn es ist nach Projektions-Tabelle IV:

$$\underline{\pi_y = a_y = 4{,}0 \text{ cm}}$$
$$\underline{\pi_z = e_z = 8{,}7 \text{ cm}} \quad \text{(s. B.S. 46, Fig. 86).}$$

Damit sind bereits wichtige Lagerelationen für die weibliche Drehachse gewonnen und wir können den strikten Beweis erbringen für die Behauptung: **Die Drehachse ist bei der Entwicklung des weiblichen Beckentypus nach vorn und oben gewandert.** B.S.54.

Nun bedeutet die Wanderung eines jeden Punktes eine Bewegung. Jede Bewegung aber ist im physikalischen Sinne als eine dynamische Erscheinung aufzufassen, die nur unter Einwirkung einer bestimmten Kraft erfolgen kann. Aus der Richtung und Länge

der Bewegung läßt sich die Angriffsrichtung und Stärke der einwirkenden Kraft erkennen. Sie liegt in den Diagonalen eines Kräfteparallelogramms, dessen Seiten gebildet sind durch Richtung und Größe zweier treibender Kräfte, der Stoßkraft und der Widerstandskraft.

Anfangs- und Endpunkt der Bewegung aber, hier also P und Π lassen sich trigonometrisch in ihrer gegenseitigen Lagerelation am besten bestimmen, indem man von einem dritten, entfernt liegenden Fixpunkte aus die Bewegung verfolgend den Winkel mißt, den die beiden Endpunkte derselben zueinander bilden. Wir haben bereits auf diese Weise die gegenseitige Lage der beiden Punkte P und Π für den weiblichen Typus von G aus ins Auge gefaßt und (Fig. 87) den Winkel $\Pi GP = \varkappa = 7^1/_2{}^\circ$ als *Sprengwinkel* bezeichnet.

2. *Vergleich des Projektionsbildes der Symmetrieebene beim männlichen und beim weiblichen Beckentypus.*

Konstruktion auf gleicher Beckenbasis. (Hierzu Tafel X.)

Der Umstand, daß

1. das geometrische System für beide Typen sich auf ein und dieselbe konstante Verhältniszahl (φ) zweier sich durchdringender Kreise stützt,
2. Diese Verhältniszahl φ und damit auch die Rekonstruktion der Form sich daher leicht auf ein und dasselbe Beckenmaß reduzieren läßt,

ermöglicht es, für die Darstellung beider Typen einen beliebigen, gemeinsamen Maßstab zu wählen, sobald wir nur eine gemeinsame Basislinie in das geometrische System der Form einzuordnen vermögen. (Siehe Synthese der männlichen Form.)

Als Grundmaß für diese Doppelkonstruktion wähle ich die Quadratseite $b = 13{,}75$ cm, die wir beim männlichen Typus = 13,5 cm, beim ausgearbeiteten weiblichen = 13,75 cm gefunden hatten. Diese Linie b sei also für beide Beckentypen = Seite des eingeschriebenen Quadrates im P-Kreis und = Seite des eingeschriebenen Dreieckes im männlichen M-Kreis bzw. weiblichen Φ-Kreis. Damit sind die Grundzüge der Konstruktion bereits gegeben, zu gleicher Zeit aber auch die Unterschiede derselben. A priori sollte man nämlich glauben, daß die konstante Verhältniszahl, die sich bei beiden Geschlechtstypen aus der Proportion

$$\frac{Rp}{Rm} = \frac{Rp}{R\varphi} = 1{,}2246 = \sqrt{2} \cdot \sin 60^0$$

ergab, im Grunde nur eine einzige Konstruktion zulassen würde, mit andern Worten, daß es völlig gleichgültig sei, welche Quadratseite wir zum Ausgang unserer Konstruktion machen wollen. Rein mathematisch genommen ist dies auch der Fall.

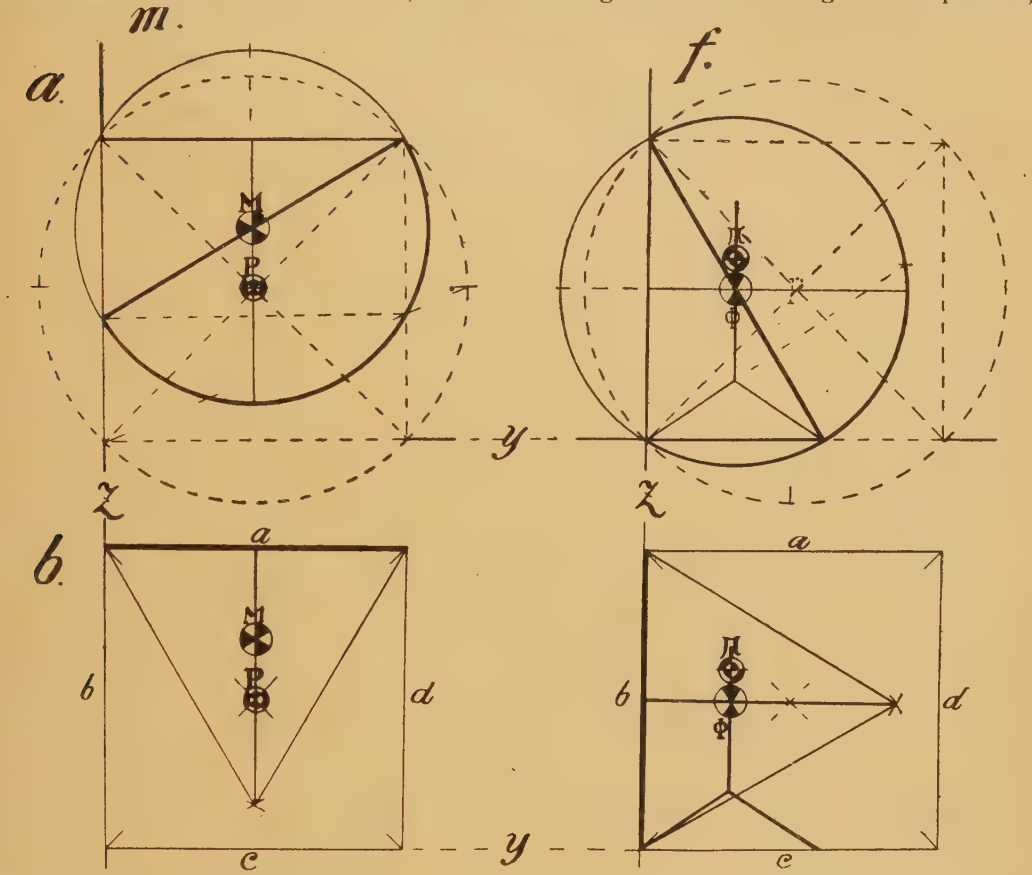
Diese Auffassung des reinen Mathematikers hält vor der Analyse des Statikers nicht mehr stand. Dieser hat seine Figur schon zuvor nach der Schwergewichtslinie einzuschätzen.

Was ich damit sagen will, erhellt sofort, sobald man nur die Anordnung der beiden in konstanter Proportion zueinander stehenden Kreise prüft. Denn die gegenseitige Lage von Viereck und Dreieck, wie wir sie bei beiden Beckentypen nachgewiesen haben, ist speziell mit Bezugnahme auf die Schwergewichtslinie nicht gleichgültig.

Diese letztere wird in unserm Orientierungssystem durch die vertikale Z-Achse dargestellt, an der wir auf Γ_1 die beiden Projektionspunkte G und C finden (Pubospinalebene Γ_2).

In Figur 92 stellen wir nun die beiden mathematischen Systeme einander gegenüber, wie sie aus der Formanalyse der beiden Beckentypen hervorgegangen: die beiden korreferierenden Kreise und die Anordnung ihres eingeschriebenen Vier- und Dreieckssystems.

Ein einziger Blick auf diese Zeichnungen genügt, uns das sichere Gefühl einzuprägen, daß die Anordnung des männlichen Systems — statisch gesehen — im Gleichgewicht ruht. Nicht so ohne weiteres beim weiblichen System, wo das Schwergewicht des ganzen Systems mit der Verschiebung des Dreiecksschwerpunktes nach der vordern Seite des Beckens hin verschoben erscheint. Bezeichnet man nämlich die vier Seiten des Quadrates *GKZO*, die alle der angenommenen Basisgröße entsprechen,



männlich Figur 92. weiblich

Das *geometrisch gleichlautende, statisch* aber *differenzierte* System der beiden Beckenkreise beim männlichen *(m)* und weiblichen *(f)* Typus. *M* und *Φ* Schwerpunkte, *P* und *II* Stützpunkte des Systems. Der männliche Typus ist in labiler, der weibliche in stabiler Gleichgewichtslage. *z* = Vertikalachse.

also geometrisch gleichwertig sind, nacheinander der Reihe nach mit *abcd*, so bildet in Fig. 92 b beim männlichen Typus *a* die gemeinsame Sehne für die beiden korreferierenden Kreise und damit zugleich die Basis für das gleichseitige Dreieck. Diese gemeinsame Figurenseite liegt also hier horizontal, während der weibliche Typus die gemeinsame Seite für das Vier- und Dreieck in *b*, also in der vordern vertikalen *Z*-Achse selber hat. Dadurch wird der Schwerpunkt des Dreieckes nach vorn, also gegen *b* hin, verschoben.

Mit dieser Erscheinung erscheint nun auch die Wanderung der Drehachse (s. o.) bei der Ausbildung des weiblichen Beckentypus in vollstem Einklange zu stehen; bedingt aber wird sie durch die stärkere Ausdehnung des Beckenrings beim weiblichen Geschlecht.

Zwar finden wir nicht, wie dies vielleicht vermutet werden könnte, die Drehachse in ihrer neuen Lage im Schwerpunkt Φ des weiblichen Dreieckes selber, sondern senkrecht über demselben. — —

An dieser Stelle läßt sich nun auch die genaue Berechnung einflechten, über den Weg, welche die Drehachse bei ihrer Wanderung von P nach Π zurücklegt. (Siehe vorhergehendes Kapitel.)

Da wir die Konstruktion beider Beckentypen auf ein einheitliches Grundmaß abgestimmt haben, dem wir die Basisgröße unseres weiblichen Beckens (13,75 cm) beigelegt, so stimmen sämtliche Zahlen auf Projektionstabelle IV auch hierfür. Es ist also:

$$p_y = p_z = \frac{13{,}75 \text{ cm}}{2} = 6{,}875 \text{ cm}$$

und $\pi_y = 4{,}0$ cm (trigr. 3,97) $= \pi_z = 8{,}7$ cm (8,6).

Daraus ergibt sich (Figur 93) im rechtwinklichen Ordinatendreieck $\Phi P \Pi$ die Länge der beiden Katheten:

$\Phi P = p_y - \pi_y = 6{,}875 - 3{,}97 = 2{,}90$ cm

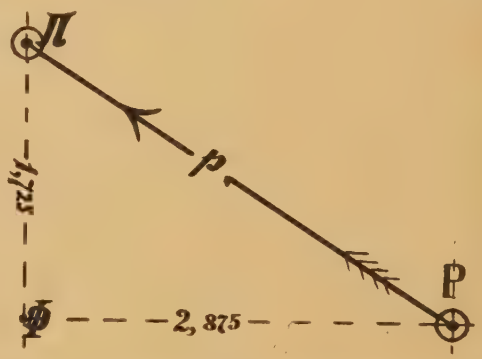
und $\underline{\Phi \Pi = \pi_z - p_z = 8{,}6 - 6{,}875 = 1{,}725.}$

Danach ist Hypothenuse $p = x$ gesetzt:

$x^2 = (2{,}9)^2 + (1{,}725)^2$

$x = \sqrt{(2{,}90)^2 + (1{,}725)^2} = \sqrt{11{,}385} = 3{,}281$

$\underline{p = 3{,}281}$ cm.



Figur 93.
Wanderung des Drehpunktes beim weiblichen Beckentypus (von P nach Π).

Die mathematische Berechnung dieser Wegstrecke p auf Γ_1 muß aber, wie die vergleichsweise Zusammenstellung beider Typenkonstruktionen überhaupt, äußerst lehrreich sein.

Will man sich nämlich Klarheit darüber verschaffen, auf welche Weise die Veränderungen der Beckenform während der Pubertätszeit des Weibes sich vollziehen, so hat man von dem Grundgedanken auszugehen, daß der ganze Habitus der juvenilen weiblichen Beckenform nur sehr wenig vom juvenilen männlichen Typus abweicht, daß dieser beim männlichen Geschlecht zeitlebens beibehalten wird, während dagegen dem ausgewachsenen weiblichen Becken ganz andere Normen zukommen. Wie und wodurch sind diese zustande gekommen und was mögen die treibenden Kräfte sein, die eine solche Ausweitung des Beckenringes ermöglichen? Denn als solche gibt sich ja die neue Form unleugbar der kindlichen gegenüber zu erkennen.

Dieser Fragenstellung über die Kausalität der Form auch noch die teleologische nach dem „Warum? — zu welchem Zweck?“ beizufügen, halte ich wissenschaftlich für unstatthaft.

Nun haben wir zu wiederholten Malen den Satz ausgesprochen: Das Wesentliche an der Beckenkonstruktion ist der Ring. Dieser aber weitet sich beim weiblichen Geschlecht aus. Tafel X setzt uns nun instand, diesen Vorgang für jeden einzelnen Punkt näher zu bestimmen und auch den Nachweis der Verschiebung, welche unser Punktsystem in der Entwicklung vom juvenil-männlichen zum ausgesprochen weiblichen Beckentypus erleidet, zu erbringen.

a) Die Ausweitung des weiblichen Beckenringes. Verschiebung der Fixpunkte.

Die Ausweitung eines Ringes kann entweder durch eine Kraft zustande kommen, die exzentrisch vom Lumen aus angreift oder aber auch durch eine innere Kraft, welche

dehnend an der Richtung der Ringperipherie selber wirkt; im ersten Falle ist die Bewegung der Punkte eine geradlinig radiäre, im zweiten eine krummlinig zirkulär-rotierende. Wir werden bei der Beckenausweitung beide Arten der Bewegung kennen lernen (s. Fig. 96).

Fassen wir nun die einzelnen Fixpunkte und Punktsysteme auf der kombinierten Γ_1-Ebene (Tafel X) näher ins Auge! — Zur Bestimmung ihrer Lage und ihrer gegenseitigen Lageverschiebung besitzen wir jetzt nicht mehr bloß ein Ordinatensystem, sondern ein nach demselben wohl orientiertes und in sich mathematisch begründetes Kreis- und Figurensystem, was das Verständnis dieser Verschiebung nun wesentlich erleichtert. Auch die Berechnung der von jedem Punkt zurückgelegten Wegstrecke bietet nicht mehr die Schwierigkeiten, wie sie uns für den Projektionspunkt *II* der Drehachse entstanden sind.

Ich wiederhole den Satz:

I. Der Drehpunkt II

ist bei der Entwicklung des weiblichen Beckentypus von *P* aus nach vorn oben gewandert. Die Wegstrecke $PII = p$ beträgt in der seitlichen Projektion nach obiger Berechnung: $p = 3{,}3$ cm (genau 3,281 cm, also im Grunde ein ganz beträchtliches Maß). Der männliche Drehpunkt *P*, von dem die Bewegung der Drehachse ausgegangen, wird als Mittelpunkt des den beiden Beckentypen gemeinsamen statischen *P*-Kreises, sowie als diagonaler Schnittpunkt seines eingeschriebenen Vierecks zum Zentrum der ganzen Bewegung. Daraus können aber noch keineswegs Schlüsse auf den Sitz der treibenden Kraft gezogen werden. Wohl aber wäre es möglich, diesen Drehpunkt *P* zum Ausgangspunkt für die ganze Ordinatenanlage zu nehmen, also als Nullpunkt des Orientierungssystems. Vom rein mechanistischen Standpunkte aus würde dies vielleicht gewisse Vorteile bieten. Indessen behalten wir das einmal angewandte Orientierungssystem mit seinen Ordinatenachsen bei, nachdem es uns gute Dienste geleistet.

Dehnt man die Untersuchungen über die Lagebeziehungen einzelner Punkte auf ganze Punktsysteme aus, so ergibt sich erst daraus die Veränderung der Form und damit die Möglichkeit, in bezug auf die Ursachen derselben Schlüsse zu ziehen. Zuvor haben wir noch zwei Projektionspunkte einzeln ins Auge zu fassen, nämlich den

II. Spinalpunkt G und Sakralpunkt E.

Dem Projektionspunkt *G* der Interspinallinie $G'G$ wurde von mir von Anfang an insofern eine Bedeutung beigelegt, als ich durch denselben die orientierende Vertikalachse *Z* gelegt habe in Anlehnung an das MEYERsche Naturgesetz. Schon der Umstand, daß dieses Gesetz für jedes männliche und weibliche Becken Gültigkeit hat, mußte in hohem Grade überraschen. Noch mehr aber überrascht hat uns sodann die Entdeckung, daß der Fußpunkt e' des Lotes vom Tiefpunkt des Kreuzbeins ($E'' = Z = e_y$) auf der horizontalen Abszissenachse bei beiden Geschlechtern den gleichen Abstand vom *O*-Punkt des Ordinatensystems haben sollte, wie der Spinalpunkt *G*. Das absolute Maß dieser Ordinatenkote differiert selbst auch bei beiden projizierten Becken nur um $\frac{1}{4}$ cm. Männlich ist $b = 13{,}5$, weiblich $b = 13{,}75$ cm. Ob diese geringe Differenz des Grundmaßes zugunsten der weiblichen Form als individuell aufgefaßt werden muß, oder aber bereits als eine Folge der Ausweitung, lassen wir vorderhand dahingestellt. Die beiden Tatsachen in Verbindung der dritten, wonach der Drehpunkt *P* bei der männlichen Form in die Mitte der Diagonalen *GZ* zu liegen kam, ließ uns das Beckenviereck finden mit dem umschriebenen statischen Kreissystem, das auch für die weibliche Form seine Gültigkeit bewahrt, wenn auch hier die Drehachse nicht mehr im Mittelpunkt des Kreises zu treffen war. Interessant ist indes eine weitere Tatsache, auf

die wir bis anhin nicht aufmerksam geworden. In der kombinierten Konstruktion der beiden Beckentypen (Tafel X) fallen nämlich E und E ziemlich genau zusammen, wie schon aus Projektions-Tabelle I und IV hervorgeht. Es ist nämlich:

männlich (Tabelle I) $e_z = 8{,}75$, $e_y = 13{,}5$,
weiblich (Tabelle IV) $e_z = 8{,}5$, $e_y = 13{,}75$.

Auf der Konstruktionstafel X, der wir das Grundmaß $b = 13{,}75$ cm für beide Typen einheitlich unterstellt haben, deckt sich nun der weibliche Punkt E mit dem männlichen E, was bei keinem andern Fixpunkte der Fall ist, außer bei G. Auch diese Tatsache mußte hier erwähnt werden im Zusammenhang mit den übrigen übereinstimmenden Punkten beider Beckentypen.

Verbinden wir ferner auf Tafel X den Punkt B mit B, so erhalten wir die Wegstrecke, welche der innere Symphysenpunkt bei der Ausweitung des Beckenringes durchlaufen hat. Ob diese Wegstrecke, die ca. 1,5 cm beträgt, immer eine geradlinige gewesen sei, läßt sich auf der einen Projektionsebene freilich nicht mit Sicherheit bestimmen; dagegen würde uns eine in ähnlicher Weise durchgeführte Zusammenstellung des männlichen und des weiblichen Projektionsbildes auf andern Ebenen darüber genügend orientieren.

III. Das Punktsystem der Symphyse.

Die Lage der drei Fixpunkte A, B, C bzw. A, B, C gibt in seitlicher Projektion (Γ_1) die Form der Symphyse wieder. Was man darunter zu verstehen hat, ist bereits oben erläutert.

Die geradlinigen Verbindungen dieser Projektionspunkte ergeben je ein Dreieck, dessen Form und Lage bei den beiden Geschlechtern verschieden ist.

Die geradlinige Verbindung der beiden Punkte C und B bzw. C und B liegt horizontal; diese Dreieckseite liegt also nach oben. Aber sie liegt beim weiblichen Typus bedeutend tiefer als beim männlichen. Es ist nämlich:

männlich C B $= b_z = 5{,}6$ cm (Projektions-Tabelle I),
weiblich $CB = b_z = 4{,}5$ cm (Projektions-Tabelle IV).

Auch ist CA weiblich mehr als die Hälfte kürzer, als C A männlich, nämlich:

männlich $b_y = 1{,}97$ cm,
weiblich $b_y = 0{,}9$ cm.

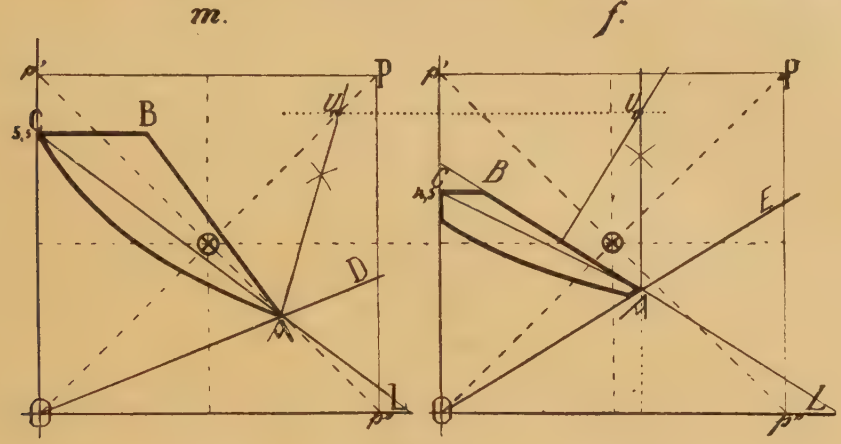
Dadurch ergibt sich eine Dreiecksform, die männlicherseits oben bedeutend massiger erscheint, als beim weiblichen Querschnitt.

Am meisten interessiert uns die Lage des Projektionspunktes A bzw. A. Wir haben diesen wichtigen Scheitelpunkt des Angulus bzw. Arcus pubis als einen Funktionär erster Größe bei beiden Typen kennen gelernt.

Am männlichen Becken kommt er auf die Linie $OD(Q)$ zu liegen (Fig. 94), beim weiblichen bildet er die Spitze des gleichschenkligen Basisdreieckes OLA. Gleichwie der Drehpunkt P als Diagonalenschnittpunkt des großen Quadrates für das ganze Becken zum Orientierungspunkt wird, so ist auch der Kreuzungspunkt der Diagonalen im kleinen Quadranten $Op'Pp''$ als Meßpunkt für die Symphysenverschiebung zu verwerten.

Nach Fig. 11 und Fig. 94m kommt nämlich männlich A auf den Schnitt der Diagonalen $p'p''$ zu liegen, wo diese den Funktionär $OD(Q)$ schneidet. Weiblich dagegen (s. Fig. 94f) ist der entsprechende Punkt A des Schambeinbogens um ca. 1 cm nach vorn
B.S.55. und oben gerückt. Da aber zu gleicher Zeit CB tiefer tritt, so erscheint **die ganze weibliche Symphysenachse der männlichen gegenüber erheblich verkürzt.** Das Verhältnis der beiden ist etwa wie 3 : 4.

Sehr wichtig aber erscheint es mir, an Hand der konstruktionellen Zeichnung (Fig. 94 *m* u. *f*) zu konstatieren, daß die ganze weibliche Symphyse (*f*) **auch nach außen**



Figur 94.

Konstruktion und Lagerelation des männlichen (*m*) und weiblichen (*f*) Symphysenschnittes. Das Blasenzentrum U_2 hat bei beiden Typen die gleiche Ordinatenkote.

unten verdrängt erscheint, was durch ihre Lagerelation zum erwähnten gemeinsamen Schnittpunkt und der Diagonalen OP und $p'p''$ leicht nachgewiesen werden kann.

IV. Die Lagekorrelation der mechanischen Punkte P und M (männlich) einerseits und Π und Φ (weiblich) anderseits.

Als Grundmaß der Beckenkonstruktion haben wir die gemeinsame Sehne *b* zweier sich durchdringender Kreise betrachtet und nehmen dafür die Länge, wie wir sie beim weiblichen Typus gefunden haben: $b = 13{,}75$ cm. Der Radius des größern Kreises wird danach: $R_p = 9{,}7227$ cm, der Radius des kleinern Kreises berechnet sich für beide Typen nach der Formel $\frac{R_p}{R_m} = \frac{R_p}{R_\varphi}$. Es ist dann $R_m - R_\varphi = 7{,}94$ cm. Nur die Anordnung der Kreise M und Φ am größern P-Kreis ist bei beiden Typen verschieden, indem in einem Falle (männlich) die Grundlinie *b* horizontal, im andern Falle (weiblich) aber vertikal liegt (s. Fig. 92 und Tafel X).

Daraus ergibt sich ohne weiteres:

1. daß die Zentren M und Φ der beiden Kreise vom Zentrum P des großen Kreises gleich weit entfernt sind:

$$\underline{MP = \Phi P = k \text{ (konstant)}.}$$

2. Das Lageverhältnis zwischen Π, P und Φ ist durch die Berechnung von p gegeben. Nach unserer Annahme ist (Fig. 87):

$$\angle PG\Pi = \text{Sprengwinkel } \pi = \tfrac{1}{2} PG\Phi.$$

Es ist somit auf der Abszissenachse (Tafel IX)

$$\underline{L\Sigma = \Sigma Z = k \text{ (konstant)}.}$$

Und da die Linie $\Phi P \parallel y$ ist als Ordinatenlinie, so halbiert $G\Sigma$ auch die Strecke ΦP. Zudem liegt Π senkrecht über Φ. Damit sind die Korrelationen der vier Punkte P, M, Π und Φ als konstant gesichert.

V. Die Korrelation der **Beckenwirbelsäule** *zum Beckenring bei den beiden Geschlechtstypen des menschlichen Beckens.* **Promontorium, Beckendach.**

Genauere Lagekorrelationen analoger Beckenpunkte zueinander, aus denen sich mit Sicherheit der Habitus der beiden bei der Spezies homo sehr stark differenzierten Geschlechtstypen bestimmen ließe, sind trotz der enormen Zahl von vorgenommenen Beckenuntersuchungen bis jetzt sehr spärlich aufgedeckt worden. Es konnte dies in exakter Weise erst durch die Parallelprojektion in Verbindung mit der Vertikalorientierung geschehen.

Was speziell die Form des Kreuzbeins bei den beiden Geschlechtern anbetrifft, so wurde insbesondere aus Mittelwerten von Beckenserien auf die stärkere Entwicklung der Kreuzbeinflügel beim ausgebildeten Weibe hingewiesen. Bei unserer seitlichen Beckenprojektion (Γ_1) können wir diese Proportionen nicht näher beurteilen, wohl aber die andere Tatsache, die Anatomen wie Geburtshelfern ebenfalls längst bekannt ist: die stärkere Abknickung der vordern Kreuzbeinfläche am 3. Kreuzbeinwirbel beim Manne, gegenüber der regelmäßigeren Wölbung dieser Fläche beim weiblichen Geschlecht. Man spricht dabei von einer „stärkern Wölbung der Kreuzbeinform und von einer allgemeinen Ausweitung des Beckenringes", welche die kartenherzförmige Appertur zu einer ovalen umgestaltet.

Was die hintere Kontur der Kreuzbeinform anbetrifft, so ist noch die Tatsache stets zu wenig hervorgehoben worden, daß sie beim männlichen Typus auf dem Medianschnitt weit mehr als beim Weibe einem schönen Kreisbogen entspricht, der sich vom Scheitelpunkt K des Hiatus canalis sacralis über das Ligamentum sacro-coccygeum posterius medium bis zur Steißbeinspitze hinzieht. Er findet nach vorne seine Fortsetzung am vordern Rand der Symphyse. Beim weiblichen Becken tritt der Processus des 3. oder 4. Kreuzbeinwirbels in der Regel etwas schärfer hervor, so daß der Kreisbogen nach hinten außen etwas geknickt erscheint.

Zwei Lagepunkte aber scheinen mir von wesentlicher Bedeutung zu sein. Es ist dies einmal die Lage der Spitze des Processus spinosus des letzten Lendenwirbels, des Pivotpunktes des Lendenknicks (J), und sodann der Tiefstpunkt des Verstärkungsgrates der Wirbelsäule am Scheitel des Hiatus canalis sacralis, den wir am männlichen Becken mit K, am weiblichen Becken mit K bezeichnet haben. Diesen Scheitelpunkt finden wir männlich auf derselben Ordinatenkote wie G; $K_z = g_z = 13{,}5$ cm; weiblich jedoch liegt er tiefer, und zwar an dem eben besprochenen Vorsprung der hintern Kontur der Kreuzbeinform.

Auch die Lage des Proc. spin. vertebrae lumb. V gestaltet sich etwas tiefer beim Weibe als beim Mann, was durch unsere Projektionsmethode leicht festzustellen ist (s. Tafel X, J und J).

Über das Zustandekommen der Ausweitung des Beckenringes aber gibt uns nun die relative Lage des Promontoriumspunktes H^k die beste Auskunft; denn gleichwie wir an der Medianprojektion der Symphyse eine exzentrische Bewegung der Fixpunkte nach unten nachweisen konnten, kann man nun auch konstatieren, daß umgekehrt das weibliche Promontorium nach oben und vorne verschoben worden ist. Der von H_2 nach H_2 zurückgelegte Weg (Tafel X) beträgt 1 cm, d. h. ziemlich genau so viel als C—C. Es ist nämlich:

männlich $c_z = 5{,}5$ (Projektions-Tabelle I)
weiblich $c_z = 4{,}5$ (Projektions-Tabelle IV) } (Fig. 94),

weiblich $h_z = 15{,}25$ (Projektions-Tabelle IV)
männlich $h_z = 13{,}5$ (Projektions-Tabelle I) } (Tafel IX, Tafel I u. II).

Daß dem Tiefstpunkt EE der Sakralwirbelsäule bei beiden Geschlechtern die gleiche absolute Ordinatenkote zukommt, ist bereits erwähnt.

Setzen wir nun voraus, die Jugendform des weiblichen Beckentypus sei mit der persistierenden Form des männlichen Typus vollständig identisch! Streng genommen ist das ebensowenig der Fall, wie in bezug auf den ganzen Körperhabitus. Auch bei den jugendlichen Beckenformen haben s. Z. FEHLING und LITZMANN nur kleine Geschlechtsunterschiede konstatiert; sie sind aber so inkonstant und von andern Autoren in Frage gestellt, daß wir ruhig bei obiger Annahme verbleiben dürfen.

Ergeben sich aus der Doppelkonstruktion der beiden Typen, die wir auf gemeinschaftlicher Grundlinie ($b = 13{,}75$) in Tafel X ausgeführt haben, die Veränderungen der Form, welche das Becken durch die Pubertät des Weibes erleidet, so ist es nicht nur von höchstem wissenschaftlichem Interesse, sondern auch von der größten praktischen Bedeutung, einmal die Unterschiede beider Geschlechtstypen der menschlichen Beckenform genauer zu präzisieren, um zu erfahren, auf welche Weise diese Differenzen zustande gekommen sind.

Wir konstruieren also die beiden Beckentypen auf ein und dieselbe Ebene, indem wir die vertikale Z-Achse unseres Ordinatensystems durch die beiden Projektionspunkte G und C und die y-Achse durch L legen. Wenn wir nun auch die Ordinatenkote von G so bemessen, daß sich ihr Abstand vom O-Punkt aus für beide Typen gleich gestaltet, so trifft dies schon bei den beiden andern Punkten C und L bzw. C und L des Ordinatensystems nicht mehr zu, obgleich sie auch nach dem MEYERschen Naturgesetz in den Ordinatenachsen z und y liegen. Wir erhalten nämlich zwei verschiedene Systeme wohl mit ähnlicher Konfiguration; doch decken sie sich nicht mehr in allen Punkten. Außer den genannten drei Punkten, die sich nach dem bekannten Naturgesetz in der Weise am Becken auszeichnen, daß wir sie als Orientierungspunkte des Ordinatensystems in gleicher Weise für beide Typen verwenden können, haben wir im Verlaufe der Untersuchungen noch eine Menge anderer markanter Punkte projiziert und in unser System aufgenommen. Von diesen neuen Punkten liegt einzig noch der Punkt E bei beiden Typen in derselben relativen Lage zum Nullpunkt. Den beiden Punkten G und E scheint also eine bevorzugte Bedeutung im Punktsystem zuzukommen. Das veranlaßt uns, die Abszisse inskünftig nicht mehr nach dem Punkt L zu orientieren, sondern den Punkt E zur Orientierung der Abszisse zu gebrauchen. Wir dürfen dies um so eher tun, als der Tuberpunkt L streng genommen nicht mehr zur wesentlichen Beckenform zu rechnen ist, da er als Ansatzpunkt der Oberschenkelmuskulatur bereits außerhalb der typischen Rumpfblase liegt. Wir schneiden danach die y-Achse derart mit der Z-Achse und legen auf die letztere den Punkt G so, daß der Abstand $C—G$ gleich ist dem senkrechten Abstand von E zur Z-Achse; diesen senkrechten Abstand nahmen wir als Grundmaß für unsere Beckenuntersuchung und machen dieses Grundmaß $b = OG = OZ$ zur Quadratseite der vertikal stehenden Figur $OGKZ$. Ihre Diagonale GZ nennen wir Beckenhauptachse. Von den genannten drei Orientierungspunkten liegt der eine, G, auf dieser Achse selber, O unterhalb, E oberhalb derselben. Damit haben wir eine konstante Lagerelation der drei Punkte G, E und O für beide Beckentypen aufgestellt.

Die Achse GZ, die beim männlichen Typus durchaus unserer „Seelenachse“ entspricht, eignet sich also ihrer Lage nach vorzüglich, um danach die Verschiebung der übrigen Fixpunkte, wie sie sich aus der Gestaltung der veränderten (weiblichen) Form ergibt, zu kontrollieren.

Bei dieser Kontrolle läßt sich nun Folgendes konstatieren:

1. Alle Fixpunkte sind beim weiblichen Beckentypus weiter von der Seelenachse GZ entfernt, als die entsprechenden beim männlichen Typus, mit Ausnahme des in seiner relativen und absoluten Lage beharrenden Fixpunktes E (Tiefstpunkt des Kreuzbeins) und der Steißbeinspitze D;

2. Diese letztere wird zwar beim Weibe nach vorn angezogen, ihr senkrechter Abstand von GZ bleibt jedoch ziemlich derselbe, wie beim männlichen Typus;
3. Am Beckeneingang, d. h. an der vordern Appertur des Beckenringes, ist die stattgefundene Verschiebung der Beckenpunkte eine wesentlich stärkere als am Beckenausgang.

Es mag angezeigt sein, an dieser Stelle nochmals die wichtigsten *Veränderungen, die das weibliche Becken bei seiner geschlechtlichen Entwicklung erleidet,* aus Obigem zusammenzustellen, soweit dies schon aus der seitlichen Projektion auf Γ_1 ersichtlich ist (Tafel X).

1. Die Symphyse.

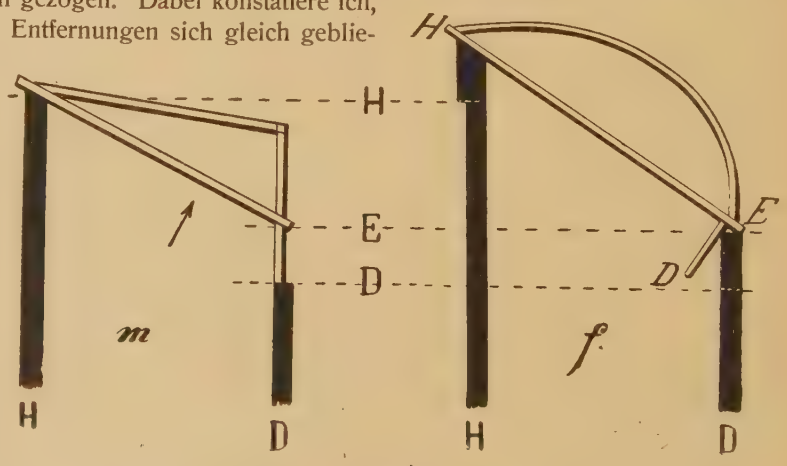
a) Die Symphyse wird in ihrer Gesamtheit nach außen unten verdrängt.
b) Ihre Längsachse wird verkürzt, indem der Scheitelpunkt A am (männlichen) Angulus pubis nach oben und vorn verschoben wird, während zu gleicher Zeit der obere Rand derselben BC nach unten tritt.
c) Die Gewebsmasse verteilt sich gleichmäßiger über den ganzen Längsschnitt; die frühere Dreieckform geht mehr in ein längliches Viereck oder Oval über. (Siehe Fig. 94 *f.*)

2. Die Beckenwirbelsäule. Sie zerfällt in die drei Abschnitte: unterster Lendenwirbel, Kreuz- und Steißbein, die sich durch die Zäsuren des Lenden- und Steißbeinknicks voneinander abgrenzen. Dem mittlern Abschnitt haben wir die Pultdachkonstruktion zugeschrieben.

a) Die Lage und Stellung des untersten, meist V. Lendenwirbels ist beim weiblichen Typus eine erhöhte und horizontalere geworden in der Weise, daß die Vorderfläche des letzten Lendenwirbelkörpers senkrechter steht und fast direkt nach vorn sieht, während sie beim männlichen Typus mehr nach unten direkt gegen den Spinalpunkt G hingerichtet ist. Zu gleicher Zeit aber senkt sich die Spitze des zugehörenden Processus spinosus (J) tiefer, so daß wir sagen müssen: Der Körper des V. Lendenwirbels wird relativ erhöht, während sich hinten der zugehörige Bogen senkt. Der wichtige Pivotpunkt des Lendenwirbels (J) ist gleich wie der Scheitelpunkt K am Hiatus canalis spinalis nach unten gezogen. Dabei konstatiere ich, daß die absoluten Entfernungen sich gleich geblieben sind. Es ist nämlich

$$JK = JK.$$

b) Die Formveränderungen, welche das weibliche Kreuzbein in der Zeit der geschlechtlichen Entwicklung des Individuums erleidet, läßt sich am besten an Hand unserer Pultdachkonstruktion (s. Fig. 95) verfolgen:



Figur 95.
(Beckendach- = „Pultdach"-Konstruktion) m = männlich, f = weiblich.

Diese Konstruktion stützte sich männlicherseits auf die ideelle Rafenlinie EH_K und ihre Stützpunkte E und H_K. Von diesen beiden Stützpunkten behält der eine, nämlich E, auch beim weiblichen Typus seine Lage bei, während sich der obere Stützpunkt H der

Rafenlinie durch die geschlechtliche Veränderung der Beckengestaltung erhöht. Zugleich erhält auch der Mansardenausbau eine konstruktionelle Umgestaltung. An Stelle der frühern winklichen Ausladung tritt eine Gewölbekonstruktion. (Siehe Fig. 95f.) Bei dieser baulichen Umänderung wird der Sparren *ED*, der bei *m* noch als Stütze diente, frei und steht anderweitig zur Verfügung. Der Punkt *E* wird zum gefestigten Stützpunkt an der gleichen Stelle wie E. Für die Gewölbekonstruktion *EH* (bei *f*) aber sind ebensoviele individuelle Varianten denkbar, wie für den winkligen Mansardenausbau bei *m*. Sie sind konstruktionell an und für sich unwichtig, erhalten aber eine große praktische Bedeutung für die Beurteilung des durch sie gewonnenen Raumes.

c) Das Steißbein. Durch die Festigung des in seiner Lage gesicherten Stützpunktes *EE* überflüssig geworden, wird das Sparrenstück *ED* nach vorn abgezogen und tritt beim Weibe als Zwischenglied in Funktion zwischen der stabilen Beckenkonstruktion und ihrem beweglichen Teil, dem elastischen Beckenboden.

3. Der elastische Beckenboden (Diaphragma pelvis) (siehe Fig. 60), geht durch diese Einschaltung des Teilstückes *ED* und die dadurch herbeigeführte größere Beweglichkeit des einen Drehpunktes (Steißbeinspitze *D*) aus dem einfachen Federmechanismus in den Doppelfedermechanismus über (vgl. Fig. 49 und 90).

4. Die Drehachse wandert in der Seitenprojektion mit dem Acetabulum nach vorn und oben. $PII - \pi = 3{,}3$ cm. Die zurückgelegte Wegstrecke orthogonal seitlich projiziert von $3^1/_8$ cm Länge ist also eine ganz respektable zu nennen.

VI. Die Angriffsrichtung der ausweitenden Kräfte.

Die eben konstatierte Verschiebungsrichtung der Fixpunkte läßt nun auf zwei Arten von einwirkenden Kräften schließen:

Einmal ist es eine exzentrisch wirkende Stoßkraft, welche die Erweiterung des Beckenringes beim heranwachsenden weiblichem Individuum bewirkt, indem sie einerseits die Symphyse nach unten außen drängt und anderseits die Hebung des vordern Rafenstützpunktes H nach *H* bewirkt (Fig. 95). Auch die Ausrundung der Vorderfläche des Kreuzbeins *EH* ist auf diese Stoßkraft zurückzuführen.

Was die Ausweitung der „Beckenenge“ und des „Beckenausganges“ anbetrifft, so sind wir nicht geneigt, dieselbe als alleinige Folge dieser Stoßkraft anzusehen. Wohl messen wir:

weiblich $AE = 11{,}75$ cm
männlich AE nur $= 11{,}0$ cm

aber es ist AD $= AD$, wenn die Bogenlinie und nicht die Sehne zwischen den Drehpunkten *A* und *D* gemessen wird.

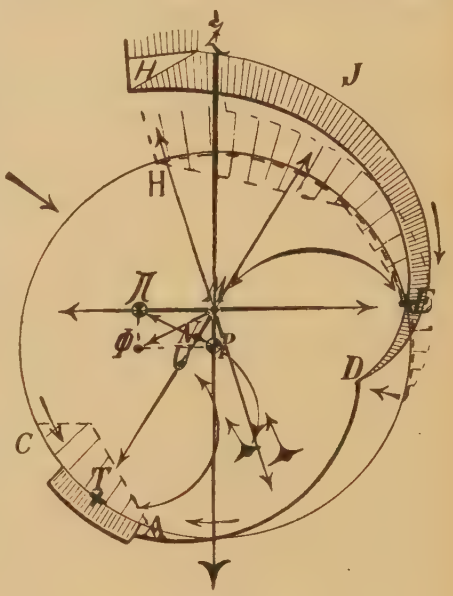
Es bleibt dabei aber zweierlei zu berücksichtigen:

1. Der weibliche Symphysenpunkt *A* wird auf der Peripherie des *M*-Kreises nach vorn oben verschoben.
2. Die Steißbeinspitze *D* wird zu gleicher Zeit in ähnlicher Richtung bewegt, aber von der Kreisperipherie ab und nach innen gezogen.

Wir haben es also einerseits mit einer eigentlichen rotierenden Bewegung zu tun, anderseits sogar mit einer solchen mit mehr zentripetalem Charakter, die sich an den Peripheriepunkten des *M*-Kreises vollziehen. Eine ähnliche gemischte Bewegungsart konnte ja bereits auch an der Bewegungsrichtung der Punkte K—*K* und J—*J* konstatiert werden. Selbst die Bewegung des Symphysenfixpunktes *C* (Tuberc. pubis) ist gewissermaßen als eine

gemischte aufzufassen. Sie ist (Fig. 94) vom Punkte *P* aus betrachtet, weit mehr eine rotierend-periphere, denn eine zentrifugale zu nennen. Aber ihre Richtung geht nach unten hin, ist also derjenigen der Punkte *A, D, K, J* in der Rotationsrichtung entgegengesetzt. Die Grenze der vorwärts- und rückwärtsgehenden Rotationsbewegung wäre also zwischen *C* und *A* — sagen wir in der Mitte der Symphysenachse — zu suchen.

An dieser Tatsache muß festgehalten werden. Sie scheint mir für das Verständnis der Entstehung der weiblichen Beckenform von größter Wichtigkeit zu sein und bis zu einem gewissen Grade bereits die Richtigkeit unserer Theorie von der Existenz einer ideellen „Leitlinie" zu bestätigen, die sich auf die Mitte der Symphysenachse aufsetzen soll. Auf alle Fälle scheinen die mannigfaltigen Bewegungsrichtungen, wie sie den verschiedenen Fixpunkten bei der „Ausweitung" der männlichen Beckenform zur weiblichen zukommen, nicht einseitig gedeutet werden zu können. Die Kraftmomente, die diese Bewegungen nach den verschiedensten Seiten hin vollführen, müssen somit auf verschiedene Art zur Entfaltung gelangen. Mit andern Worten: Das maschinelle System der weiblichen Beckenformierung muß ein kombiniertes sein.



Figur 96.
Die Angriffsrichtung der ausweitenden Kräfte (halbschematisch).

Das ist die erste notwendige Folgerung, die sich aus der vergleichenden Analyse der beiden Geschlechtstypen des menschlichen Beckens ergibt.

Und die zweite Schlußfolgerung ist die: Da die ausweitende Kraft des Beckenringes, die dem weiblichen Typus zukommt, eine im allgemeinen radiär zentrifugale, zugleich aber eine zweiseitig peripher rotierende ist, wobei der tote Punkt an die Symphysenebene bei $+T$ zu liegen kommt, so hat man den Sitz des Angriffspunktes der Kraft im Lumen des Beckenringes selbst zu suchen; aber sie kann nicht mehr eine rein radiär gerichtete Stoßkraft sein. Als Stützpunkt des kombinierten maschinellen Systems wäre sonach der Ruhepunkt *T* an der Symphyse zu betrachten. Er entspricht dem Auflagepunkt *a* in Exp. X (Fig. 91).

b) Maschinelles Zusammenwirken von Blase, Uterus und Beckenboden.

Als letzte Ursache der geschlechtlichen Differenzierung der Beckenform, wie sie nur bei der Spezies homo in solchem Grade konstatiert werden kann, müssen daher die spezifischen Druck- und Spannungsverhältnisse der Beckeneingeweide aufgefaßt werden, wie sie nur dem menschlichen Weibe und dies erst in seiner Pubertätszeit zukommen.

Diese spezifischen Eingeweideverhältnisse des menschlichen Weibes ergeben sich einerseits ontogenetisch aus dem Vergleich mit dem männlichen Individuum: d. h. aus der Einlagerung des Uterus zwischen Blase und Rektum, andererseits phylogenetisch aus dem Vergleich mit den weiblichen Individuen anderer Säugetierarten, aus der Senkung und konsekutiven Kugelformierung der Blase, wobei im Zusammenhang damit der Uterus selber nach dem hintern Beckenende hin und damit in das Lumen des Beckens hineingerät.

Beide morphologischen Gebilde, Blase und Uterus sind in ihren untern Partien mechanisch funktionell miteinander verbunden. Oben kommt jedem Organ eine gewisse Freiheit in Form,

Lage und Bewegung zu, die freilich bei beiden Organen wieder eine gewisse Einschränkung erhält. Und zwar ist es bei der Blase das Lig. vesicae medium, beim Uterus das Doppelband der Lig. rotundae, also immer genetisch vorgebildete Organe, die der unbeschränkten Bewegungsfreiheit von Blase und Uterus eine gewisse Zügelung auferlegen.

Das ist der maschinelle Apparat, der beim menschlichen Weibe in Aktion tritt zur Ausweitung seines Beckenringes. Er ist in dieser Kombination spezifisch anthropologisch und eigenartig. Die mechanische Zusammenwirkung von Blasenfüllung und Spannung des elastischen einarmigen Uterushebels ist oben im Experiment X klargelegt (Fig. 91).

Bei diesem physikalischen Experiment läßt sich nun der eiserne Ring, welcher der gefüllten Blase mit zwei Punkten als Träger dient, durch zwei schiefe Ebenen ersetzen, die zur Horizontalen gleiche Neigung haben.

Diese Bedingung ist beim weiblichen Beckentypus erfüllt durch die Bildung des gleichschenkligen Basisdreieckes OLA, dessen verlängerte Seiten AB und AE auf Π_1, die Spuren zweier gleich geneigter Ebenen darstellen, der Symphysenebene und der Beckenbodenebene. Das Stativ, an dem wir im Exp. X den Zügelapparat der Ligg. rotundae befestigen, wird ersetzt durch die vordere Bauchwand, in deren Spalten (Canalis inguin) die Mutterbänder in verbreiterter Ausfaserung endigen.

Nun dürfen wir die selbstkonstruierte Maschine in den Beckenring selber einsetzen und hier in situ unter Einwirkung der physiologischen Druckverhältnisse der menschlichen Rumpfhöhle sich umformen und in Funktion treten lassen. Man hat sich dabei an die durch die räumlichen Verhältnisse des Beckenringes bereits gegebenen Lage- und Größenverhältnisse zu halten.

Dabei hat man nur zwei mechanische Punkte, das Blasenzentrum und den Drehpunkt des einarmigen Uterinhebels näher in ihrer Lage zu präzisieren. Wir tun es an Hand des vorhandenen Raumes in der Beckenhöhle, sowie nach unsern theoretisch gewonnenen physikalischen Deduktionen.

Gleich wie beim männlichen Typus und wie dies sich auch bei einer gewissen Füllungsphase des Schlauches im physikalischen Versuch ergibt, muß man auch beim weiblichen Typus die Kugelform der Urinblase innerhalb einer gewissen Füllungsbreite derselben theoretisch als gegeben annehmen.

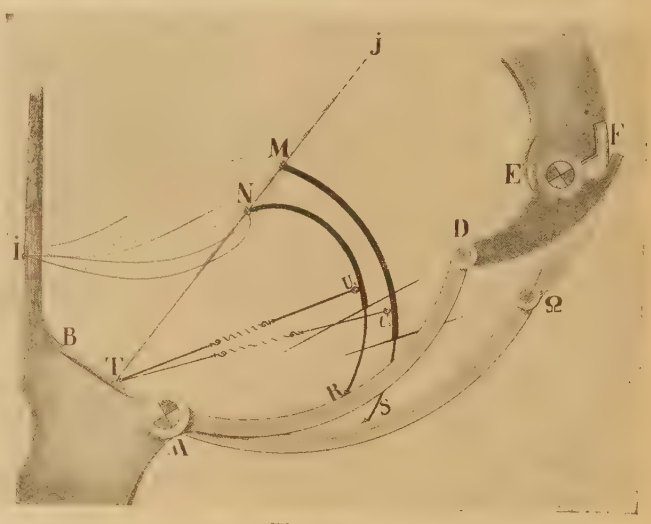
Diese Blasenkugel ruht auch hier wieder auf zwei Ebenen auf, auf der hintern Symphysenebene (Innenfläche des Beckenringes) und auf der Beckenbodenebene (AB und AE). Das Zentrum der Blasenkugel ist also unter allen Umständen auf der Halbierungsgeraden des Spreizwinkels BAE dieser Ebene zu suchen und bewegt sich bei wechselndem Füllungsgrad der Blase auf dieser Steiglinie auf und ab. Das andere mechanische Zentrum, der bewegliche Drehpunkt des einarmigen Uterushebels aber wird in seiner labilen Lage so lange hin und her gependelt und so in den Beckenbodenmechanismus eingegliedert, bis es auf dem Lot des Beckenbodens in Gleichgewichtslage kommt. Elastischer Doppelmechanismus des Beckenbodens, Uterushebelwirkung und Blasenspannung sind damit zu einem einheitlichen mechanischen Systemgebilde geworden.

Das Zusammenwirken der einzelnen Bestandteile dieser zusammengesetzten Körpermaschine wird am ehesten ersichtlich sein, wenn es uns gelingen sollte, die Vorgänge auf technisch konstruktivem Wege nachzubilden.

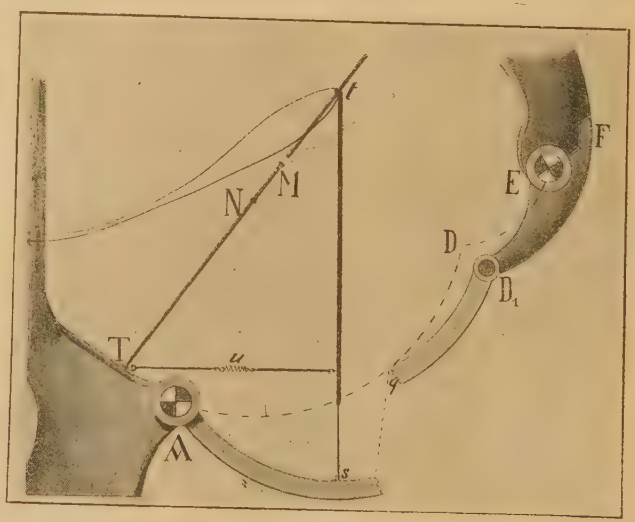
Wir ersetzen dabei (Fig. 97) die Blasenspannung in der Wirkung durch eine Spiralfeder, die einerseits am absoluten Fixpunkt T befestigt ist und anderseits an einer gebogenen Stahlfeder angreift, deren Drehpunkt beweglich auf einem dünnen Eisenstabe („Leitlinie“ TJ) sich auf-

und abbewegt. Diese Stahlfeder NR ist zwischen diesen Eisenstab und der einen Federbrücke einer Doppelfeder eingeschraubt. Durch die Exkursionen des beweglichen Zwischengelenkes D dieser Doppelfederbrücke wird das Ganze in Gang gesetzt.

Übertrüge man dieses technische Experiment auf die physiologische Körperfunktion, so hat man nur die Spiralfeder U durch die wechselnde Füllung der Urbinblase zu ersetzen, die Spannfeder NR bzw. MS durch den elastischen Uterushebel, der am Angriffspunkt U_1 bzw. U_2 von der Last u bewegt wird und in der Federbrücke des ebenfalls elastischen Beckenbodens AD bzw. $A\Omega$ seine Stütze findet. Die Erkenntnis dieses freilich etwas komplizierten Mechanismus ist für den Gynäkologen von der allergrößten praktischen Bedeutung. Sie bestätigt die von mir längst erwähnte Anschauung, daß für das Zustandekommen aller pathologischen Lageanomalien des Uterus außer der Integrität des Dammes in erster Linie die Elastizitätsverminderung des Organs verantwortlich gemacht werden muß. Tritt ein solcher Elastizitätsverlust ein, d. h. verliert der Uterus aus irgendeinem Grunde (Endometritis, Hyperämie, Atrophie usw.) seine Fähigkeit, sich elastisch abzubiegen, so stellt er sich entweder steif in die Richtung des Beckenboden-Perpendikels (Retroversioflexionsstellung), oder sein Fundus fällt schlaff auf die Blase nieder. In beiden Fällen geht die Fähigkeit für ihn verloren, sich selber zu halten; er wird nach vorn oder nach hinten abgedrückt. Genau dasselbe ist der Fall, wenn, wie in Fig. 98 darzustellen versucht wird, pathologischerweise der normale Halt des Organs im Beckenboden verloren geht. Dies tritt ein bei Dammrissen, die über die Lage des Stützpunktes R bzw. S hinausgehen. Dieser wichtige Stützpunkt in der Mitte des Beckenbodens liegt nach unsern



Figur 97.
Konstruktionelle Darstellung der mechanischen Funktion des elastischen Uterushebels RN und SM in Verbindung mit Druck und Zug von Seite der Urinblase U_1, U_2.



Figur 98.
Der gestörte Beckenboden-Mechanismus.
Der Uterus-Prolaps bei Dammriß, technisch konstruiert.

Untersuchungen ca. 1½ cm hinter der hintern Komissur. In diesem Falle geht mit der Kugelform auch die Stoßkraft der Blase verloren; der Uterus stellt sich in die gerade Richtung, also in die Richtung nach dem Scheidenausgang hin, wodurch die Anlage zum Prolaps ohne weiteres gegeben ist. Nachdem in Figur 97 es gelungen, das mechanische Zusammenwirken kombinierter Kräfte und auch im Exp. X die eigentliche Kausalität der topographischen Lage von Blase, Beckenboden und Uterus wiederzugeben, dürfen wir die diesbezüglichen Resultate unserer Untersuchungen dahin zusammenfassen, daß wir sagen:

1. Die topographische Lage und physiologische Form des Uterus in situ beim menschlichen Weibe ist die alleinige Folge des dynamischen Ausgleiches zwischen der Bewegungsenergie des Eingeweideinhaltes, der elastischen Spannkraft und der Widerstandskraft des Körpergewebes.*) Sie sind in letzter Linie zurückzuführen auf die Aufrichtung der menschlichen Stammesform und die konsekutive Kugelformbildung der darin eingeschlossenen Urinblase.

2. Durch die Elevation der Rumpfform und das konsekutive Sinken der Urinblase wird der Fundus uteri an den genetisch präexistierenden Ligg. rotundae aufgehängt. Der ganze Uterus wird so maschinell zu einem **einarmigen elastischen Hebelarm mit relativ beweglichem Drehpunkt** an seinem obern Ende. Am untern Ende, dem Angriffspunkt der Last, kommt die Stoß- und Zugkraft der wechselnd gefüllten Blase in Wirkung; zwischen Dreh- und Angriffspunkt der Last wirkt in entgegengesetzter Richtung, in der Richtung des Perpendikels der Beckendach-Rafenlinie die Kraft.

3. Dadurch, daß sich der relativ bewegliche Drehpunkt des Uterushebels in das Perpendikel des Beckenbodens stellt, wird seine Lage von dem Letzern beeinflußt und dirigiert. Fällt der Stützpunkt des Perpendikels in der Mitte des Beckenbodens dahin (Dammriß über 1½ cm), so geht pathologischer Weise auch die normale Stellung und Lage des Uterus zugleich mit seiner maschinellen Spannkraft verloren.

4. Physiologisch-funktionelle und mechanische Lagefunktion des menschlichen Uterus sind somit an folgende vier Faktoren gebunden:

a) Elastizität des Uterusgewebes.
b) Integrität des Zügelapparates (Ligg. rotunda).
c) Elastizität der Blasenmuskulatur und Kugelform der Blase.
d) Integrität der Beckenboden- und der Bauchdecken-Elastizität — als eines Teilstückes der Rumpfwand (Bauchdecken, Brustwand, Zwerchfell, Beckenboden).

Beim Versagen eines dieser vier Faktoren wird über kurz oder lang der Gang der Maschine gestört. Es kommt zu Lage- und Funktionsanomalien des Uterus. Inwieweit diese zu Störungen im Allgemeinbefinden der Frau führen, gehört nicht hierher.

Die ideelle Zusammenfassung aller Anordnungen und Voraussetzungen zu Experiment I—X (Figur 43—45, 57 und 91), sowie unserer technischen Konstruktion des männlichen und weiblichen Beckenboden-Urogenitalapparates (Figur 49 und 90) vereinigt so ziemlich alle oben aufgezählten Faktoren in sich. Sie vermag eine bessere Auffassung in uns zu zeitigen über die primären natürlichen Ursachen, die dem Lebensgeschehen zugrunde liegen. Freilich sind die anderen Vorgänge und Ausgleichungen in der Körpermaterie, wie die chemischen, thermischen, dabei so gut wie gänzlich außer acht gelassen und selbst von den stato-mechanischen nur die hauptsächlichsten ins Auge gefaßt worden. Aber die kurzen Betrachtungen haben mit Nachdruck gezeigt, daß man die Eingeweidemechanik in der statischen Forschung mit Unrecht beiseite gesetzt hat.

---

*) v. ARX, Uteruselastizität (Autoref.). Corr. f. Schweiz. Ärzte 1901, S. 626.

Wie die Form durch natürliche Reaktion der Körpermaße als fruktionelles Resultat aus dem mechanischen Spannungsausgleich mit dieser Außenwelt hervorgeht, ist in unsern Experimenten ebenfalls klargelegt und wird durch die folgenden Projektionsbilder weiterhin bestätigt.

Weitere Projektionen und Untersuchungen der weiblichen Beckenform.

Die Quermaße unseres Beckens, auf konventionelle Weise gewonnen, haben wir nunmehr, gleichwie bei der männlichen Form, zu halbieren, d. h. nur von der medianen Symmetrieebene aus zu berechnen.

Tab. V.

Tabelle V.

Quermaße des weiblichen Beckens.

	Konventionell:	ab Medianlinie gemessen:
Spinae ant. sup. GG'	25,5 cm	$g_x = 12{,}75$ cm
Cristae ilei	26,5 cm	13,25 cm
Tubera ischii LL' (Innenmaß)	8—10 cm	$l_x = 4{,}0$-$5{,}0$ cm
Tubercula pubis CC'	4,0 cm	$c_x = 2{,}0$ cm
Distanz der Femoraköpfe III'	18,0 cm	$\pi_x = 9{,}0$ cm
Distanz der Trochanteren TT'	26,5 cm	$t_x = 13{,}25$ cm
Breite des Os sacrum (vordere Flügelbreite)	12,0 cm	$s_x = 6{,}0$ cm
Größter Querdurchmesser des Beckenlumens	12,6 cm	$q_x = 6{,}3$ cm
Querdurchmesser des Beckenlumens in der Achsenlinie III'	11,3 cm	$q_{\pi x} = 5{,}65$ cm

Hätten wir unser Becken vom geburtshelferischen Standpunkte aus zu qualifizieren, so würden wir etwa sagen: Die innern Maße sind beinahe vollkommen entwickelt, während die äußern, mehr akzidentellen der Crista ilei, der Trochanteren, in der Entwicklung relativ noch zurückgeblieben sind.

Die Orientierung des Beckens an der Pubospinallinie bleibt auch weiblicherseits für die folgenden Projektionen dieselben. Wir werden auch wieder der seitlichen Darstellung den frontalen Aufriß und den Grundriß der einen Hälfte der Form folgen lassen und jeweilen die Konstruktion der andern Hälfte beifügen. — Nach unserm Gutdünken können sodann Projektionen und Konstruktionen auf anderen Bildflächen folgen, wobei wir uns nicht mehr genau an die bei der männlichen Form gewählten Ebenen zu halten brauchen, wie dies bei den Hauptebenen Γ_2 und Γ_3 noch der Fall sein wird.

3. Der frontale Aufriß.

Projektion und Konstruktion auf die Pubospinallinie Γ_2. (Hierzu Tafel XI.)

Orientierung: Die beiden Spinalpunkte G' und G, sowie die beiden Tubercula pubis C' und C liegen an der vertikalen Pubospinalebene; die horizontale Grundebene wird durch die Tiefstpunkte am Tuber ischii (Kufenpunkte) $L'L$ gelegt. Orthogonalprojektion.

Die z-Achse von Γ_1 bleibt auch hier z-Achse und ihre Ordinatenwerte können von Tafel VIII und IX direkt herübergenommen werden. Die Ordinatenwerte der seitlichen x-Achse ergeben sich aus vorstehender Tabelle V.

Außer den Ordinatenwerten unserer Fixpunkte, die sich aus Projektion Γ_1 und direkter Messung am weiblichen Becken ergeben, verwerten wir auch die Koten unserer konstruktionellen Darstellung auf Tafel IX, vor allem diejenigen der Kreiszentren. Sie ergeben sich wie folgt in der Zusammenstellung:

P-Kreis	Radius $R_p = 9{,}7227$	$P' = 6{,}875$	$P'' = 6{,}875$
M-Kreis	Radius $R_m = 7{,}94$	$M' = 9{,}75$	$M'' = 6{,}875$
— Kreis	Radius $R_\varphi = 7{,}94$	$\Phi' = 6{,}875$	$\Phi'' = 4{,}875$
U_1-Kreis	Radius $u_1 = 3{,}00$	$U_1' = 6{,}00$	$U_1'' = 4{,}00$
U_2-Kreis	Radius $u_2 = 3{,}71$	$U_2 = 6{,}875$	$U_2 = 4{,}0$
F-Kreis	Radius $f = 1{,}72$	$\pi' = 8{,}7$	$\pi'' = 4{,}0.$

Wir projizieren wieder die rechte Beckenhälfte orthogonal und bringen symmetrischer Weise die linke Hälfte in Konstruktion, wobei wir in erster Linie die Kreise von ihrer gegebenen Zentrumslage aus konstruieren. Hierbei fallen die Kreiszentren P, Φ und U_2 in einen Punkt zusammen, der zugleich der Spitze D des Steißbeins entspricht. Wir nennen dieses Zentrum Φ-Punkt und legen dem wichtigen Φ-Kreis den Namen „Ausweitungskreis" bei.

Auch das bekannte eingeschriebene Viereck des P-Kreises wird erstellt, sowie das auf derselben Viereckseite ruhende Dreieck mit der Spitze nach unten.

Zu beiden Seiten der Drehachse $\Pi'—\Pi$ kommen auf Z_2 die Kreise der Femurköpfe mit der Radiusweite $\pi = 1{,}72$, da der P-Kreis aber den Radius $R_p = 9{,}72$ cm aufweist, die Drehachse jedoch nur 9,0 cm (Projektionstabelle V), so geht daraus der wichtige Satz hervor:

Die weibliche Drehachse hat sich absolut verkürzt und zwar total um **B.S. 56.** $2 \times 0{,}72 = 1{,}44$ cm.

Ziehe ich einerseits von A aus die obere Tangente an den Femurkopf und verbinde anderseits Φ mit L, so erhalte ich im Schnittpunkt dieser beiden Geraden den mathematischen Punkt des Tuberculum pubis mit der Ordinatenkote 1,85.

Wohl die wichtigste Linie dieser Konstruktionsebene Γ_2 ist die Verbindunglinie des Spinalpunktes G mit dem untern Schnittpunkt O des M-Kreises auf Z. Diese Gerade entspricht nämlich, wie der erste Blick auf Tafel XI augenscheinlich verrät, in der Lage durchaus der Richtung des Lig. pouparti. Ihre Bedeutung erhellt weit mehr daraus, daß sie nicht nur die Peripherie des U_2-Kreises, sondern auch die Linea innominata nach unten außen tangiert, während letztere sich nach oben außen von innen her an den Φ-Kreis anlehnt. Die gemeinsame Tangente im Berührungspunkt beider krummen Linien des Φ-Kreises der Linea innominata geht durch das Femurkopfzentrum Π. Es partizipieren also sowohl der M-Kreis wie der Φ-Kreis an der Formierung der ausgeweiteten weiblichen Linea innominata. Die gemeinsame „innere Tangente" am Π-Kreis und der Zikloide der Linea innominata aber geht durch den untern Ordinatenpunkt des Φ-Kreises und zielt zugleich nach der größten Ausladung der Crista ilei hin. Die Bezeichnung „Ausweitungskreis" wird daher für den Φ-Kreis durchaus zutreffend sein.

Aus allem aber geht jetzt schon mit Sicherheit hervor, daß das Hauptprinzip auch des weiblichen Beckenbaues eine Tangentenkonstruktion genannt zu werden verdient. Ich habe dies in der Darstellung dadurch hervorzuheben versucht, daß ich die Tangentenlinien nicht nur punktiert, sondern voll ausgezogen gezeichnet habe.

Schon bei der Darstellung der Frontalansicht des männlichen Beckens (Γ_2) haben wir zum ersten Mal auf diese „Tangentenkonstruktion" hingewiesen (B. S. 43). Nachdem im vorangegangenen Abschnitt vergleichsweise das Konstruktionsbild der Medianebene beider Geschlechtstypen aufeinander gelegt worden, wird es am Platze sein, auch hier ein gleiches zu tun und die Kreis- und die Tangentenkonstruktion näher ins Auge zu fassen.

Die Kreis- und Tangentenkonstruktion.

Das systematische Ordnen der Projektionspunkte, das sich bei der männlichen Beckenform verhältnismäßig leicht schon auf der ersten Darstellungsebene Γ_1 durchführen ließ,

hat zur Entdeckung der beiden Kreise geführt, deren Radien in dem konstanten Verhältnis $\varphi = 1{,}2246$ zueinander stehen. Dem kleinern dieser Kreise mit dem Radius R_m habe ich mechanische „formbildende", dem größern R_p statische „formerhaltende" Bedeutung zugesprochen.

Ich betone hier nochmals, daß dieses Kreissystem aus der Form selber abgeleitet wurde. Ein vierter Kreis ist ebenfalls in der Form selber gegeben, nämlich im Durchmesser des Femurkopfes. Morphologisch gehört er also bereits einem anderen Skeletteile an, mechanisch-statisch aber tritt er in enge Beziehung zur Beckenkonstruktion. Ich werde diesen Kreis inskünftig als *F*-Kreis und seinen Radius mit R_f bezeichnen. Von den drei erstgenannten Kreisen scheint dieser *F*-Kreis auf den ersten Blick hin unabhängig zu sein.

Alle drei bzw. alle vier (♀) Kreise der Γ_1-Ebene finden wir nun auf die zweite Darstellungsebene Γ_2 (Frontalebene) übertragen (Tafel XI). Dadurch entsteht für den projizierten Kreis wieder die Vorstellung einer ideellen Kugel; die durch den *F*-Kreis dargestellte Figur entspricht mechanisch einer virtuellen Kugel, wenn auch ihre Form morphologisch nicht vollkommen ausgebildet erscheint.

Eine virtuelle Kugelform stellt im Fernern auch die Urinblase innerhalb eines gewissen Breitengrades ihrer Füllung dar. Welche Größe ihrem Radius *u* beizulegen ist, läßt sich ohne weiteres noch nicht sagen. Was ihre Lage im Beckenraum betrifft, so führen physikalische Erwägungen (siehe Experiment VI und VII) darauf hin, daß sie auf zwei Ebenen aufruhen muß, um im Gleichgewicht zu sein. Diese Ebenen sind einerseits die innere Symphysenebene (*AB*) und die dynamische Beckenbodenebene (*AE*) anderseits. Sie werden auf Γ_1 durch die Spurlinien AB und AD (♂) resp. *AB* und *AE* (♀) angedeutet.

Da die Länge des Radius *u* nicht bekannt ist, so kann jeder Punkt auf der Halbierungslinie („Steiglinie") des „Spreizwinkels" dieser beiden schiefen Ebenen Blasenzentrum sein. Beim weiblichen Beckentypus steht die Steiglinie (*A II*) vertikal.

Konstruktionell wäre es also innerhalb gewisser Grenzen, die durch topographisch-anatomische bzw. funktionelle Rücksichten gesteckt werden, gleichgültig, von welchem Punkte der Steiglinie aus man den *U*-Kreis ziehen würde, da alle diese Kreise die Spurlinie *AB* und *AD* (bzw. *AE*) tangieren. Wir wählten dazu männlicherseits auf Γ_1 hervorragende Schnittpunkte von Linien unseres mathematischen Systems, wodurch freilich auch der *U*-Kreis in ein gewisses Abhängigkeitsverhältnis zu diesem System gebracht wurde, wenn auch dieses kausale Verhältnis noch nicht offenkundig vor uns lag.

Überraschend war nun aber der Befund im weitern Verlauf der Konstruktion, daß eine dritte Hauptlinie des männlichen Beckenbaues, die Rafenlinie des Beckendaches (HD) den *U*-Kreis ebenfalls tangiert. Punkt H war bis jetzt im Kreissystem nicht eingereiht. Auch der letzte Kreis, der *F*-Kreis, dessen virtuelle, also meßbare Radiuslänge am Skelett selber direkt ermittelt werden konnte, schien in keinem bestimmten Abhängigkeitsverhältnis zu den übrigen Kreisen zu stehen. Wenigstens konnten wir bei der Γ_1-Konstruktion ein solches nicht finden; es trat bei beiden Typen erst auf Γ_2 zutage, und zwar durch die Tangentenkonstruktion (Tafel III und XI). Ihre Ergebnisse werden durch die fernere Tatsache mechanisch erklärt, daß sich auf allen Darstellungsebenen die Curvatur der Linea arcuata von innen her an den ideellen *M*-Kreis anlehnt, obgleich dieser ursprünglich ohne jede Beziehung zur genannten Knochenleiste gezogen worden war.

Am einfachsten gestalten sich die Verhältnisse naturgemäß beim männlichen Typus, wo sie noch ursprünglich und nicht durch das Auftreten eines zweiten mechanischen Ausweitungsfaktors (Uterushebels) umgeformt vorliegen. Wir haben auf diese Tangentenkonstruktion der männlichen Form bei jeder ihrer Darstellungsebenen bereits hingewiesen (Fig. 69, 70).

Nach Figur 79 wird der männliche Femurkreis von den beiden Diagonalen eines Quadrates eingeklemmt. Seine Radiusgröße wäre damit noch nicht bestimmt; sie wird erst durch Fixierung des Zentrums gegeben, das am Ende der Drehachse liegt. Und diese Drehachse ist $= R_p$. Damit ist die Abhängigkeit des F-Kreises von den beiden Formkreisen des Beckens festgestellt. Wir sagen also:

1. Der Radius des Femurkopfes wird von der Beckendynamik bestimmt. B.S. 57.

2. Der F-Kreis wird auf Γ_2 und Γ_3 von den beiden Diagonalen des seitlichen Beckenquadrates kreuzweise tangiert, in der Weise, daß außerdem die eine von ihnen, OZ auf der entgegengesetzten innern Seite von der Blasenkugel, die andere HG ebenso von der Kurve der Linea innominata berührt wird. Die beiden Diagonalen sind also Innentangenten. Ihre Stützpunkte liegen in der medianen Symmetrieebene.

Nach der Darstellung auf der Haupt- und Stützebene Γ_s und Γ_t (Tafel VI und VII), geht die Peripherie des formbildenden M-Kreises durch die Kante der Linea arcuata. Eine Innentangente vom medianen Schambeinpunkt C' ausgehend, berührt den Blasenkreis (U) und den Femurkreis (F), während eine Gerade, die von der Symphysis sacro-iliaca aus auf die entgegengesetzte Beckenhälfte hinübergeht, hinten die Blasenkugel tangiert und durch das Zentrum des Femurkopfes verläuft.

Weitere Tangentenkonstruktionen sind auf Tafel II—VI nachzusehen. — Ausführungen hierüber folgen im Zweiten Teil.

Was die Innentangenten anbetrifft, wobei bekanntlich der eine Kreis auf der einen, der andere auf der entgegengesetzten Seite die gemeinsame Gerade berührt, so ist ihre Anlage eine außerordentlich feinfühlige, indem die gegenseitigen Lage-Größenverhältnisse genau bestimmt sein müssen. Ist die Innentangente in einem Endpunkte (Drehpunkt) fixiert gedacht und durch die beiden Kreise belastet, so wirkt sie als mathematischer Hebel mit einem dem Drehpunkt näher gelegenen Angriffspunkt der Kraft und einem ferner gelegenen der Last. Hier sind die Begriffe nicht mehr zu verwechseln. Dieser Satz scheint hier für das Verständnis der Tangentenkonstruktion des Beckenbaues grundlegend zu sein. Der Femurkreis spielt dabei das Moment der Last, der Innenkreis (die Blasenkugel oder auch die Linea arcuata interna mit ihrer Fortsetzung, der Pecten pubis) das Moment der Kraft. Das erstgenannte „äußere" Moment steht in engstem Abhängigkeitsverhältnis vom statisch-formerhaltenden P-Kreis, das letztere, innere Moment zum fombildenden M-Kreis. Beide Kreise aber korreferieren untereinander durch die Verhältniszahl φ.

Das bleibt auch so, wenn wir zum weiblichen Typus übergehen.

Auf Tafel XI legen wir vom O-Punkt des Ordinatensystems eine Tangente an den M-Kreis: Sie berührt auch gleichzeitig den F-Kreis. Ebenso berührt auch eine gemeinsame Gerade, die wir von H^k aus ziehen, die Peripherie des ausweitenden Φ-Kreises und des F-Kreises. Der Φ-Kreis wird dabei von dieser Tangente nahe der Stelle berührt, wo seine Peripherie von innen her von der Linea arcuata interna gedrückt wird.

Auf alle Fälle erscheint nun auch weiblicherseits der F-Kreis als neues Glied in das Kreissystem eingereiht.

Die Innentangente, welche hier die Linea arcuata interna und den Femur-(F-)kreis berührt, geht unten durch den Medianpunkt des ausweitenden Φ-Kreises und oben nach der größten Ausladung der Crista ilei hin.

4. Der Grundriß der weiblichen Beckenform.

Projektion und Konstruktion auf die Grundebene Γ_3. (Hierzu Tafel XII.)

Orientierung und Darstellung der Form gestalten sich genau so wie beim männlichen Typus. Das Becken steht an der vertikalen Pubospinalebene (Γ_2), deren Spur zur Abszisse x_3 wird, während die Spur der vertikalen Medianebene als Ordinatenachse y_3 auftritt. Die vertikale z-Achse erscheint zum O-Punkt verkürzt. Vertikale Parallelprojektion auf die horizontale Grundebene für die rechte Beckenhäfte, symmetrische Konstruktion für die linke. Die Ordinatenkoten können für x_3 auf Γ_2, diejenigen von y_3 auf Γ_1 abgelesen werden (y_1).

Das Bild auf Tafel XII zeigt wie bei Tafel IV deutliche Dreiecksform.

Der Beckeneingang ist weiblicherseits mehr geöffnet als männlicherseits, indem dort das Promontorium H^k weniger nahe an die frontale x-Achse herantritt.

Konstruktion. Vom Ordinatenpunkt P aus ($p_y = \frac{b}{2} = \frac{13{,}75}{2} = 6{,}875$) ziehe ich den P-Kreis mit dem Radius $R_p = 9{,}72$ cm und konstruiere das eingeschriebene Halbquadrat mit der Seite $b = 13{,}75$ cm, sodann von der Ecke G''' dieses Viereckes aus mit derselben Spanne b auch das gleichseitige Dreieck. Sein Schwerpunkt Φ ist auf $^1/_3$ seiner Ordinatenhöhe gegeben. Von diesem Punkt Φ aus beschreibe ich mit $^2/_3$ Höhenmaß des Dreiecks den Φ-Kreis ($R_\varphi = 7{,}94$); er geht durch den Schnittpunkt G''' des P-Kreises mit x_3 und genügt den Anforderungen der Verhältniszahl φ.

Im Fernern ziehe ich auch den M-Kreis mit demselben Radius $R_m = R_\varphi = 7{,}94$ cm von P''. Sein Zentrum fällt also mit demjenigen des P-Kreises zusammen. Sein Peripherieschnittpunkt mit der y_3-Achse gibt den Fixpunkt F.

Ich lege nun durch die Kreiszentren P'' und Φ'' die Abszissen $\parallel x_3$. Der direkte Abstand dieser beiden Geraden ist gleichbedeutend mit der Horizontalverschiebung der Drehachse von P aus nach vorn. Auch läßt sich hier die Verkürzung der weiblichen Drehachse von $PP'' = 9{,}72$ auf $\Pi\Pi'' = 9{,}0 = \Pi\Phi$ genauer beobachten; es ist aber daran zu erinnern, daß das Femurkopfzentrum Π nicht mehr auf der Peripherie des P-Kreises zu suchen ist.

Versuchs- und vergleichsweise ziehen wir auch die Femurkopfkreise um P und Π, den erstern mit dem Radius $R_f = 2{,}0$ (♂) den letztern (♀) mit $R_f = 1{,}72$.

Nachdem in vorgehender Darstellungsebene (Γ_2) die Tangentenkonstruktion eine eingehendere Würdigung erfahren, mag es nun von Interesse sein, dieses Konstruktionsprinzip auch auf Γ_3 näher zu prüfen. Wir legen zu dem Zwecke von G'''' und von P' aus Tangenten an den Femurkreis ($R_f = 1{,}72$). Beide Berührungsgeraden schneiden sich im Punkte G_3; dieser Punkt liegt auf der x_3-Achse und hat vom O-Punkt eine Entfernung von 12,75 cm. Er entspricht also dem Projektionspunkt G der Spina ant. sup. von der Pubospinalebene. Bemerkenswert ist noch, daß dabei die Tangente $G'''G$ den Punkt P passiert, somit in ihrem Verlaufe vier Direktionspunkte hat.

Die „herzförmig" gestaltete Linea arcuata interna tangiert von innen her die Verbindungslinie JG, während sie vorn in ihrer Fortsetzung als Linie Crista pubis nach B hin verlaufend an die gemeinsame Tangente stößt, die auch den U_2-Kreis berührt, ($u_2 = 3{,}71$) und den O-Punkt mit Π verbindet. Auch diese Gerade besitzt somit wenigstens vier Direktionspunkte. Weitere Details des Grundrisses sind aus Tafel XII ersichtlich.

Wenn auch gemeinhin die räumliche Darstellung eines Körpers auf seine drei Hauptebenen genügt, um eine richtige Vorstellung seiner Form nach allen Dimensionen des

Raumes hin zu gewinnen, so halten wir es doch für angezeigt, auch in der Form-Analyse unseres weiblichen Beckens einen Schritt weiter zu gehen und gleichwie wir es bei der männlichen Form getan haben, die Darstellung auf beliebige weitere Ebenen auszudehnen. Bietet ja doch gerade die Untersuchung der weiblichen Beckenform vom praktischen Standpunkte des Geburtshelfers und Gynäkologen aus das höchste Interesse.

Die Literatur über diese Studien ist heute kaum mehr zu übersehen. Auch ist die Form des weiblichen Beckenskelettes in der Tat eine weit kompliziertere als diejenige des männlichen Beckens, und die Ursachen, die hierzu beitragen, sind so mannigfach, daß wir nicht zu fürchten brauchen, ein Zuviel getan zu haben. Je mehr wir die eine — normale — Form analytisch zergliedern, um so mehr glaube ich für das Verständnis anderer auch pathologischer Beckenformen gewonnen zu haben. Wir lassen also hier die Darstellung auf zwei weitere Ebenen folgen.

5. Der Querschnitt des weiblichen Beckens. Darstellung der Form auf die Ebene der Stützachse TJ.

Projektion und Konstruktion Γ_7. (Hierzu Tafel XIII.)

Orientierung. Unter Stützachse oder „Leitlinie" verstehe ich die ideelle Gerade, die als Lot auf der Mitte der innern Symphysenebene AB steht und durch den Beckenraum hindurch verlaufend nach dem Pivotpunkt des Lendenknicks, der Spitze J des Proc. spinosus am letzten Lendenwirbel hinzielt (s. Konstrukt.-Tafel IX). Ihre Lage zum Ordinatensystem ist bestimmt durch die Lage von AB (Neigungswinkel $\lambda = 32^\circ$). Die Linie TJ ist somit als Spur einer Ebene zu betrachten, die senkrecht zur Symmetrieebene Γ_1 steht und zugleich auch senkrecht auf der Mitte von AB. Bei der Konstruktion, in doppeltem Maßstabe ausgeführt, hat sich nun das überraschende Ergebnis herausgestellt, daß das Mittelperpendikel auf der Symphysenebene (AB) einerseits durch die Spitze J des Proc. spinos. lumb. V und anderseits in ihrer Rückverlängerung nächst dem O-Punkt vorbeigeht (Fehlergrenze s. Fig. 85).

Dieser „Leitlinie" könnte man daher auch den Namen „Stützlinie" geben wie beim männlichen Becken, da sie sich, wie dort die Stützlinie, auf den O-Punkt stützt, mit dem einzigen Unterschied, daß ihre Neigung: ♂ 45°, ♀ 58° zur horizontalen Abszissenachse y_1 beträgt. Γ_1 und Γ_7 sind also in der Lage nicht identisch, obgleich beide Darstellungsebenen durch den O-Punkt unseres Ordinatenkreuzes gehen. Sie sind es auch mechanisch nicht.

Die neue Abszissenachse x_7 ist $= x_2$ und x_3; die Ordinatenachse y_7 geht durch den Nullpunkt O und durch J. Ihre Ordinatenwerte werden auf Γ_1 (Tafel XIII), auf der Geraden OTJ gefunden. Punkte außerhalb, vor oder hinter dieser Linie werden auf dieselbe gelotet.

Γ_7 gibt in Parallelprojektion das Bild auf die Beckeneingangsebene wieder. Die Leitlinie TJ ist zum Verständnis des weiblichen Beckenbaues wohl die wichtigste mechanistische Linie und dies um so mehr, da sie in ihrer rückwärtigen Verlängerung nach vorne unten in der Nähe des O-Punktes vorbeigeht. Aus diesem Grunde habe ich für die weibliche Form an Stelle der sogenannten Stützebene die Ebene der Leitlinie zur Darstellung gewählt. Trotz der geringen Neigungsdifferenz von ca. 13° sind die Bilder der beiden Beckentypen wesentlich voneinander verschieden (vgl. Tafel VI u. XIII).

Konstruktion. Nachdem ich die Ordinatenwerte von Tafel VIII und XI auf y_7 und x_7 aufgetragen und auch die Ordinatenlage von P und das Lot auf y ermittelt habe, ziehe ich von diesen Zentren aus mit $R_p = 9{,}72$ cm und $R_\varphi = 7{,}94$ cm die bekannten Kreise, wobei jedoch zu beachten ist, daß die Richtung der Ordinatenachse y_7 nirgends durch das Zentrum

geht, die Kreise also exzentrisch werden. Dasselbe ist beim M-Kreis der Fall, indem das Zentrum M ebenfalls etwas unterhalb der Leitlinie liegt auf der Ordinate von P.

Da wo diese Ordinate von P (die Mittelvertikale p'' des Beckenquadrates) die Leitlinie schneidet (Tafel IX, M_u), habe ich die Lage des Drehpunktes des Uterus bei maximalster Spannung angenommen. Dem Kreis, den ich auf Γ_1 von diesem Punkte M_u aus durch B und K gelegt habe, kommt nach der Berechnung der Radius $R_u = 7{,}69$ cm zu. Das Kreiszentrum liegt auf Γ_τ auf y_τ selber; wir ziehen also auch diesen Kreis von M_u aus, sowie die beiden Blasenkreise von U_1 und U_2 (exzentrisch). Am Ende der Drehachse II' II (9,0 cm) liegt der Femurkopf mit Radius $R_f = 1{,}72$ cm. C liegt 1,85 cm von der Ordinate entfernt, G 12,75 cm.

Die weitere Konstruktion ist wieder eine ausgesprochene Tangentenkonstruktion. Die Innentangente vom Blasenkreis U_2 und Femurkopf stützt sich auf den Ordinatenpunkt C'.

Das Spannungssystem des Lig. Pouparti mit seinen verschiedenen Faserpartien gelangt auch hier wieder in ausgiebigster Weise zur Anschauung.

Bemerkenswert ist ferner, daß die Peripherie des M_u-Kreises, in dessen Zentrum der Fundus uteri bei starker Abdominalspannung auf Γ_τ zu suchen ist, den Kreis des Oberschenkelkopfes berührt.

Die Topographie des Uterus kommt auf dieser Darstellungsebene zur vollen Geltung. Ich habe daher versucht, auf Tafel XIII ihr Verhalten je nach dem Stand der Blasenfüllung (U_1 oder U_2) zu skizzieren, indem in der konstruktiv gehaltenen linken Beckenhälfte die Lage des Uterus bei minimaler, in der projektiv gehaltenen rechten Hälfte seine nach hinten oben verdrängte und gestreckte Stellung bei maximalem Radius der Blasenkugel eingezeichnet ist. Im letztern Falle (maximale Blasenkugelform) wird infolge der Streckung der runden Mutterbänder der Fundus uteri straff an die hintere Blasenwand an- und dadurch plattgedrückt. Ein weiteres Nachhintentreten des Gebärorgans ist bei intakten Mutterbändern nicht möglich. M_u (s. Tafel IX) bildet den Höchststand des Uterushebels nach unsern physikalischen Deduktionen und nach dem Leichenexperiment, sofern letzteres unmittelbar nach erfolgtem Tode bei möglichst erhaltener Elastizität der Gewebe ausgeführt wird. Bei minimaler Blasenfüllung (linke Hälfte Tafel XIII) bewahrt der Fundus uteri seine selbständige Haltung. Der Drehpunkt N der beiden Perpendikel: dasjenige der Beckenbodenebene (AD), und dasjenige der Symphysenebene (AB), auf TJ liegt auf der Darstellungsebene Γ_τ gleich M_u in der Ordinatenlinie. Der Fixpunkt des Zügelpaares der Ligg. rotunda im Canalis inguinalis liegt beiderseits neben der Symmetrieebene. Die seitliche Entfernung dieses Punktes von der Ordinate y_τ beträgt ca. 4 cm. Die sphärisch gebogene Verlaufsebene der Mutterbänder wird in der projektivischen Darstellung auf Γ_τ an der Drehachse II'—II geknickt.

6. Längsschnitt der weiblichen Beckenform.

Projektion und Konstruktion auf die Ebene der Σ-Achse. (Hierzu Tafel XIV.)

Durch die Wanderung der Acetabula hat sich die Drehachse beim weiblichen Beckentypus verschoben und zu gleicher Zeit verkürzt (B.S. 54). Das gleicharmige, rechtwinklige Achsenkreuz ist dadurch zerstört. Die Hauptachse scheint an Bedeutung verloren zu haben. Die Σ-Achse (s. Tafel X), die wir durch die Mitte der Interspinallinie $G'G$ und durch die neue Drehachse II'—II gelegt haben, ist an ihre Stelle getreten. Es mag daher nicht befremden, wenn wir beim weiblichen Beckentypus die Ebene der Σ-Achse der Hauptebene Γ_s vorziehen und erstere an Stelle der letztern zur Darstellung wählen (s. Fig. 87).

Orientierung. Da beide Ebenen, die Γ_σ- wie die Γ_s-Ebene, durch die Interspinallinie GG' verlaufen und ihre Spuren auf Γ_1 den Sprengwinkel $\pi - \frac{\gamma}{2} = 7\frac{1}{2}^\circ$ einschließen, so ist die Differenz ihrer Neigungswinkel zur horizontalen Abszisse ungefähr halb so groß wie diejenige von Stützachse und Leitlinie ($= 13^\circ$) auf dem vorhergehenden Darstellungsfeld ($\Gamma_t : \Gamma_\tau$) männlicher- und weiblicherseits.

Die Σ-Achse hat also eine Neigung von $45^\circ + 7\frac{1}{2}^\circ = 52\frac{1}{2} = 60^\circ - \angle\pi$ (s. Fig. 87);

$$\angle\sigma = \angle\alpha = 52\tfrac{1}{2}^\circ.$$

Für die neue Darstellungsebene bildet also $G\Sigma$ die Ordinate. Nullpunkt ist ihr Schnittpunkt Σ auf y_1; die Abszisse x_σ steht im Nullpunkt seitlich senkrecht auf Γ_1. Die Abszissenwerte sind dieselben wie auf x_2, x_3 und x_τ.

Da nur die beiden Punkte G und Π, welche für die Richtung der Σ-Ebene ausschlaggebend sind, auf der Ordinatenachse selber liegen, so müssen die Lagerelationen zur Darstellungsebene Γ_σ für alle weitern Fix- und Konstruktionspunkte erst durch das Lot auf y_σ gewonnen werden. — Parallelprojektion.

Konstruktion. Wir ziehen von P' aus den P-Kreis ($R_p = 9{,}72$ cm) und am Endpunkt Π der 9,0 cm langen Drehachse den F-Kreis des Femurkopfes ($R_f = 1{,}7$ cm). Das Zentrum Π dieses Femurkreises kommt hier auf die Peripherie des P-Kreises zu liegen. Der Φ-Kreis ($R_\varphi = 7{,}94$ cm) tangiert oben in G' die Interspinallinie $\boldsymbol{G'G}$ und unten die x_σ-Achse. Ich ziehe noch mit den Radien $u_1 = 3{,}00$ cm und $u_2 = 3{,}7$ cm die beiden Blasenkreise.

Von D konstruiert sich wieder eine Innentangente, indem sie doppelseitig einerseits den großen Blasenkreis und anderseits den F-Kreis berührt. Der M_u-Kreis, den wir von $M_{u\sigma}$ aus mit $R_{mu} = 7{,}69$ cm ziehen, geht durch den Berührungspunkt dieser Innentangente an der Peripherie des F-Kreises. Auch die untere gemeinsame Kontur der Ligg. spinoso-sacra und tuberoso-sacra finden hier ihre tangentiale Anlehnung an die Peripherie des M_u-Kreises. Sie kreuzt die Ordinatenachse y_σ in demjenigen Abstande vom O-Punkt, der demjenigen des Schnittpunktes der Beckenbodenebene (AD) auf Γ_1 entspricht.

Eine weitere Innentangente wird oben von der Kurve der Linea arcuata interna und in der negativen Körperhälfte von derjenigen des Arcus pubis betastet.

Das Darstellungsbild der Σ-Ebene ist von unten vorne auf den Schambeinwinkel betrachtet und hat sehr viel Ähnlichkeit mit demjenigen der Hauptebene am männlichen Becken. Die Portio cervicalis uteri erscheint in ihrem untersten Teil noch unterhalb der Peripherie des Blasenkreises; der Fundus uteri reicht im Höchststand bis zum Ordinatenpunkt M_u hinauf.

Wenn auch namentlich in seinen untern Partien verkürzt, erscheint der Arcus pubis auf Γ_σ bereits als schöne Bogenlinie, die in eben dargelegter Weise tangiert erscheint. Nichtsdestoweniger gebietet es die Bedeutung des Schambogens für die geburtshilfliche Praxis, dieser Skelettpartie noch eine eigene bildliche Darstellung einzuräumen.

7. Darstellung des Arcus pubis.

Projektion und Konstruktion auf die Symphysenebene Γ_2. (Hierzu Fig. 99.)

Orientierung. Name und Begriff „Symphysenebene“ sind uns bereits bekannt. Es ist die ideelle Ebene, die wir uns senkrecht zur Symmetrieebene Γ_1 und durch die innere Kontur des Symphysenschnittes gehend zu denken haben. Streng genommen ist diese Kontur, die als Spur AB der neuen Darstellungsebene auf Γ_1 (Tafel IX) erscheint, keine gerade Linie, da die Hinterfläche der Symphyse nach innen und der Ramus pubis nach außen gekrümmt

erscheinen. Wir haben aber die Linie AB als die Fortsetzung der Dreiecksseite LA des gleichschenkligen Basisdreieckes OLA erkannt und ihre Bedeutung dort bereits gewürdigt.

In Figur 86 sodann wurden die einzelnen Abschnitte dieser Linie berechnet, die unter dem Neigungswinkel $\lambda = 32°$ steht.

Die Neigung von 32° zur Horizontalen kommt also auch der neuen Projektionsebene Γ_λ zu. Der Projektionspunkt L der Γ_1-Projektion, der dort als Kufenfixpunkt auf der horizontalen Abszisse ruht, wird jetzt zum Abszissenpunkt der neuen Projektion, die Spurlinie LB wird zur Ordinate y_λ (Tafel XV). Die x_λ-Abszisse erscheint auf der Grundebene Γ_3 seitwärts gehend senkrecht zu ihr im Kufenpunkt L_3'' (Tafel XII); ihre Werte sind die gleichen wie bei der x_2-, x_3-Achse. Unterhalb x_λ sind die beiden Hilfsabszissen x_λ' und x_λ''.

Die Ordinatenwerte auf y_λ ergeben sich aus Fig. 85 und Tafel VIII. Es mag gestattet sein, sie hier zu wiederholen. (B. S. 48.)

Γ_1 wird: Auf y_λ:

$$\begin{array}{ll} (LA)_1 & (OA)\,y = 4{,}68 \text{ cm} \\ AB & (AB)\,y = 3{,}77 \text{ cm} \\ (LN)_1 & (ON)\,y = 9{,}43 \text{ cm} \\ (LT)_1 & (OT)\,y = 6{,}55 \text{ cm} \\ & (OG')\,y = b = 13{,}75 \text{ cm} \end{array}$$

Auf x_λ ist Kote von

$$\begin{array}{ll} C'' = 3{,}7 \text{ cm} & G'' = 12{,}75 \text{ cm} \\ \Pi'' = 9{,}0 \text{ cm} & L = 5{,}5 \text{ cm}. \end{array}$$

Die übrigen Konstruktionspunkte, wie Π, Φ, U_1, U_2, P und M und M_u müssen zuerst auf Γ_1 auf die neue Ordinatenachse durch Loten in ihrer relativen Lage bestimmt werden. Einzig U_1 und Φ fallen in einen Punkt zusammen.

Daß die Darstellung der weiblichen Beckenform auf die Symphysenebene Γ_λ hier nochmals besonders hervorgehoben wird, hat seinen Grund in zwei Momenten. Einmal haben wir dieser Ebene (AB) als „Stützebene" der Blasenkugel eine besondere statische Wichtigkeit beigelegt; sodann aber auch ergibt sich hier die übersichtlichste Darstellung der vordern Beckenwand mit dem Arcus pubis, was speziell für den Praktiker von größtem Werte sein muß. Bei allen bisherigen Projektionen und Darstellungen erschien nämlich stets die Gegend der Schambeine in ihrer Höhen-Dimension projektivisch verkürzt. Auf Γ_λ ist das nicht mehr der Fall. — Im Gegenteil! — Es kommen hier auch noch die Tubera ischii unterhalb der Abszissenachse x_λ im Zusammenhang mit der schönen Bogenformation des Arcus pubis zur Anschauung. Die Ansicht der in der frühern Lage an der Pubospinalebene eingestellten Beckenform erfolgt also hier von unten vorn senkrecht auf den Schambogen mittelst Parallelprojektion.

Konstruktion. (Figur 99.) Die Ordinatenwerte der Projektions- und Konstruktionspunkte werden der Reihe nach von $(LN)_1$ auf die y_λ-Achse übertragen, bzw. darauf konstruiert. Da die Linie $(TJ)_1$ auf der Mitte von $(AB)_1$ senkrecht steht, so fallen eine Anzahl wichtiger Punkte wie U_1, Φ, N_u und M_u, die auf dieser Leitlinie liegen, mit dem Punkte T zusammen.

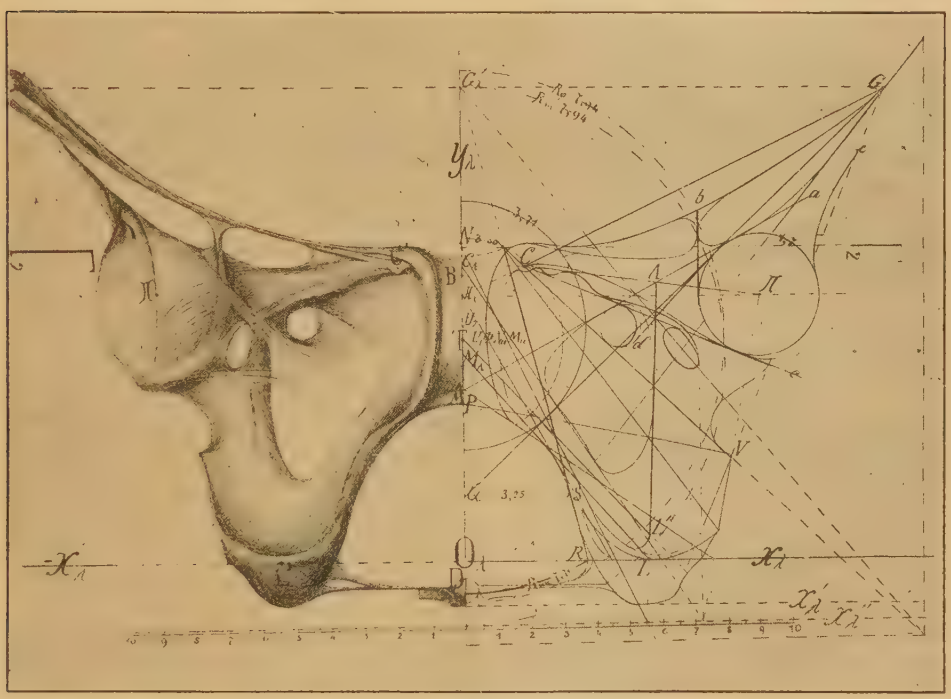
Das Zusammenfallen des Punktes P mit A auf Γ_λ ist neu und von Bedeutung; es heißt das mit andern Worten: Das Lot auf dem untern Endpunkt A der innern Symphysenlinie (Γ_λ) geht weiblich durch den Mittelpunkt des P-Kreises, während es männlicherseits nach E hinzielt.

Auf der Abszissenachse x_λ haben wir nur vier Ordinatenwerte zu verzeichnen, nämlich $C = 1{,}85$ cm, $L = 5{,}5$ cm, $\Pi = 9{,}0$ cm, $G = 12{,}75$ cm.

Die Spur der Frontalebene Γ_2 geht durch $(N)_1$. D liegt mit der ganzen Steißbeinkonstruktion unterhalb von der Spur der Grundebene $\Gamma_3 = x_\lambda$. (Hilfsabszissen x_λ' und x_λ''.)

Die Lage der Linea arcuata interna (innominata) auf Γ_λ ergibt sich wieder aus der Konstruktion einer Tangente,

a) welche sich oben an den Femurkopf ($R_f = 1{,}7$ cm) anlehnt und durch den Scheitel des Lig. arcuatum pubis geht und einer weitern Geraden $C\Pi$. Verbinde ich den



Figur 99.

7. Darstellung des weiblichen Schambogens.
Orthogonal-Projektion und Konstruktion des Arcus pubis (Γ_λ).

Schnittpunkt Λ dieser beiden Linien nach unten zu mit L, so erhält man die ganz geradlinige Spur ΛL der innern Wand des kleinen Beckens. Durch den Ansatz des Lig. tuberoso-sacrum wird diese Gerade unten medianwärts abgebogen.

b) Weitere Tangentenlinien am Femurkopfkreis bezeichnen die Lage der Eminentia-ileo-pectinea (vertikal);

c) Die untere Tangente von C aus geführt, zeichnet den untern Pfannenrand (supercilium acetabuli);

d) Durch den Schnittpunkt dieser untern Tangente mit der Geraden ΛL lege ich eine neue Tangente nach oben an den Femurkreis. Sie legt sich als „innere Tangente" aufrollend an den kleinen Kreis, der den Canalis obturatorius umgrenzt.

e) Krummlinig tangiert endlich außen den Femurkopf die äußere Kontur des Os ilei.

Der weibliche Schambogen, der Arcus pubis, entwickelt hier — wie bereits betont — seine ganze Entfaltung samt dem konstruktionell zugehörigen Tuber ischii und dem Ringgefüge der Schambeine mit der Symphysis pubis und dem Foramen obturatorium. Der Schambogen erscheint durch die folgenden sechs ihn tangierenden Geraden genauer bestimmt.

a) Scheitelpunkt A — oberster Punkt V der Tuberositas ossis ilei;
b) anderseitige „obere Tangente" des Femurkreises AA in ihrer diesseitigen Fortsetzung;
c) $M_\lambda - L$;
d) Π_λ — Fußpunkt von AL auf x_λ':
e) G_λ' — Ansatz des Lig. pubicum superius am Ramus horizontalis des Schambeins: Die Verlängerung nach unten trifft die Abszissenachse in R.

Nach diesem Abszissenpunkt verläuft auch das Lig. spinoso-sacrum und die Peripherie des elastischen Beckenbodens, die von N_u aus mit dem Radius $R_u = 7{,}70$ cm gezogen wird. —

Dies ist nun auch der Ort, um auf die *Messungen des weiblichen Schambeinwinkels* zu sprechen zu kommen.

WALDEYER hat bekanntlich diesen Winkel an einer großen Beckenzahl eingehend studiert und kommt zu einem Durchschnittswert von 72°.

Nach MARTIN (Lehrbuch der Anthropologie, S. 1014) schwanken die Mittelwerte des weiblichen Angulus pubis bei den verschiedenen Völkern zwischen 74° und 78°, bei Andamanen 85°.

Noch sind die beiden Blasenkreise mit den Radien $u_1 = 3{,}00$ cm, $u_2 = 3{,}71$ cm einzuzeichnen. Das Zentrum U_1 fällt auf der y_λ-Achse mit T zusammen.

1. $\underline{(OT)_\lambda = (LT)_1 = 6{,}5545 \text{ cm.}}$ (Fig. 85).
2. $(OU_2)_\lambda$ berechnet sich aus $OA + x$ wie folgt, wenn $x = (AU_2)_1$ ist:
   $(AU_2)^2 = (AU_2)^2 - (u_2)^2 = (6{,}875 - 2{,}5)^2 - (3{,}71)^2 = (4{,}375)^2 - (3{,}71)^2$
   $\underline{(AU_2)_\lambda = 2{,}317 \text{ cm}}$, womit die Lage des Zentrumpunktes U_2 auf y_λ bestimmt ist.

An die Peripherie des U_2-Kreises ziehe ich sodann von G aus die eine Tangente. Sie berührt auch den Femurkreis als Innentangente.

Die übrige Konstruktion ist in Figur 99 nachzusehen; sie bietet des Interessanten und Überraschenden viel, besonders was die Zeichnung des Foramen obturatorium, des Canalis obturatorius, sowie der Bursa mucosa subiliaca betrifft, deren Konturen alle durch geradlinige und krummlinige Tangenten geführt werden. Besonders hervorheben möchte ich die schöne Wellenlinie, die undulierend vom Tuberculum pubis C als untere Kontur des Ramus horizontalis ossis pubis verläuft und sich in den beiden Öffnungen, dem Canalis obturatorius und der Bursa mucosa verliert.

Es tritt nun aber an uns die schwierige Frage heran: Welche Punkte sollen wir bei der Bestimmung des Schambeinwinkels wählen? — Da der Schambogen eine doppelt geschweifte Linie darstellt, ein „Karnies", wie sie in der Ornamentenlehre genannt wird, so kann nur die Tangentenlinie in Frage kommen, welche den untern medianwärts konvexen Bogenteil berührt. Es wäre dies unsere letztgenannte Tangente (*e*), welche in G_λ' ihren medianen Stützpunkt hat. Fassen wir daher diese zuerst näher ins Auge! —

Zu suchen ist der Winkel ORG'.

Zu bestimmen ist nun zunächst die genaue Ordinatenkote von G'. Sie berechnet sich auf Γ_1 (Tafel IX) aus dem Ordinatendreieck (OLG), dessen Winkel bei $L = 60{,}0$, dessen Katheten $(OG) = b = 13{,}75$ cm und $OL = R_\varphi = 7{,}94$ cm ist. Somit ist $(LG)^2 = b^2 + R_\varphi^2$

$$\underline{LG_1 = 15{,}909.}$$

Auf y_λ übertragen, erhält G_λ die Ordinatenkote $(OG')_\lambda$ aus der Gleichung

$$(OG_\lambda) = (LG_1) \cdot \sin(60^\circ - 32^\circ) = 15{,}909 \cdot \sin 28^\circ$$

$$\underline{OG' = 14{,}047 \text{ cm.}}$$

In dem Dreieck ORG' nun kennen wir nur diese Kathete OG'. Es müssen daher weitere Stücke gesucht werden. Wir besinnen uns, daß wir die Tangente (e) von G' aus durch den Ansatzpunkt des Lig. pubicum superius gelegt haben, dessen Abstand = 1,25 cm beträgt von der Medianlinie an gerechnet. Setzen wir $OR = x$, so ist somit

$$x : 1{,}25 = OG' : NG'$$
$$= 14{,}047 \text{ cm} : (14{,}047 - 9{,}363 \text{ cm}) = 14{,}047 : 4{,}684$$
$$x = \frac{1{,}25 \cdot 14{,}047}{4{,}684} = 3{,}748 \text{ cm} \qquad \underline{OR = 3{,}748 \text{ cm.}}$$

Nachdem nun im $\triangle ORG'$ die beiden Katheten bekannt sind, sind auch die Winkel gegeben. Es ist

$$\operatorname{ctg} \angle ORG' = \frac{OR}{OG'} = \frac{3{,}748}{14{,}047} \quad \begin{matrix} = \log\ 0{,}5738 \\ -\log\ 1{,}1475 \\ \log \operatorname{ctg}\ 9{,}4263 = 75^\circ 56' \end{matrix}$$

$$\angle ORG' = 76^\circ.$$

Somit ist $\qquad \angle OQR = 14^\circ.$

Da wir nun die genauen Ordinatenwerte von A und R kennen, so verbinden wir diese beiden Punkte miteinander. Wir machen dabei die Wahrnehmung, daß die Verlängerung dieser Linie nach unten wieder als Tangente am median-konvexen Schambogenteil auftritt.

Im Ordinatendreieck ORA sind nun beide Katheten bekannt, und der halbierte Schambeinwinkel OAR berechnet sich

$$\operatorname{tg} \angle OAR = \frac{OR}{AO} = \frac{3{,}478 \text{ cm}}{4{,}6815 \text{ cm}} \quad \begin{matrix} = \log\ 0{,}57377 \\ -\log\ 0{,}67038 \\ \log \operatorname{tg}\ 9{,}90339 = 38^\circ 40' \end{matrix}$$

$\underline{\angle OAR = 38^\circ 40'}$, somit der ganze Schambeinwinkel

$$R_1AR = 2 \times 38^\circ 40' = 77^\circ 20'.$$

Sein Scheitelpunkt liegt im Scheitel A, und mit seinen beiden Schenkeln tangiert er innen den median-konvexen Schambeinbogenteil am Tuber ischii, ist also unserer Auffassung nach das richtige Maß, um die Karnieslinien des Schambogens zu messen.

Zu dieser Auffassungsweise zwingt uns die Darstellung der Form auf Γ_λ. Diese Darstellungsebene gibt ja die eigentliche Frontalansicht des Schambogens wieder mit der ihm zugehörigen Symphysen- und Sitzbeinkonstruktion. Der Umstand, daß die Form des letzern im Zusammenhang mit der Beckenform der Schambeine dabei unverkürzt zur Anschauung gelangt, ist wertvoll und bietet für das Verständnis des Schambeinbaues bessere Gewähr als eine bloße binokuläre Ansicht des Skelettes aus nächster Nähe. Gerade hierbei wird es augenscheinlich, welchen Vorzug die Orthogonalkonstruktion verdient vor der Zentralprojektion oder dem besten Radiogramm. Für wissenschaftliche Berechnungen ist die Darstellungsmanier mittelst parallelen Strahlen allein empfehlenswert. Sie allein gibt die Proportionen nach allen Seiten des Raumes in leicht zu berechnender Weise wieder.

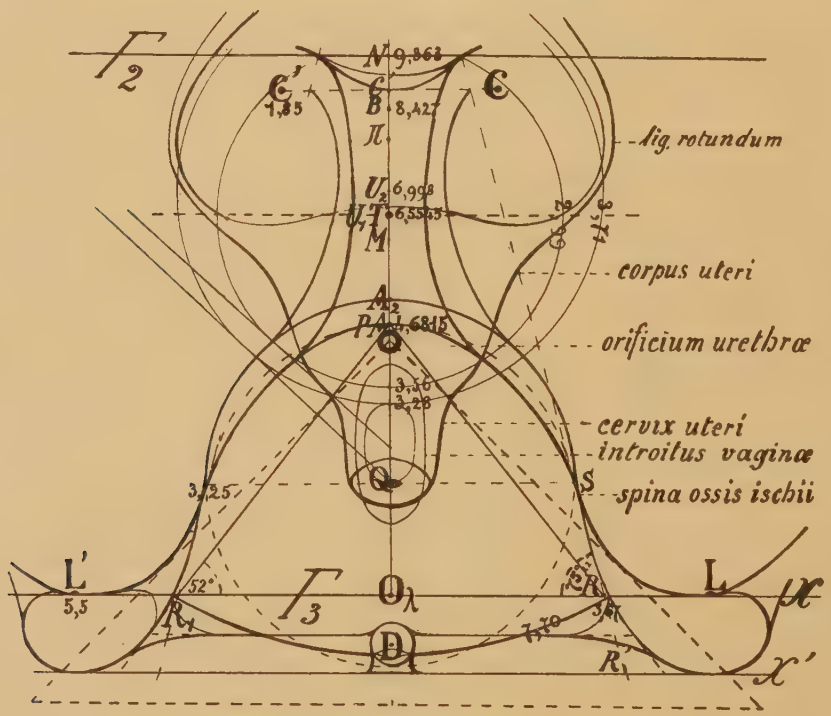
Noch bleibt uns übrig, die Bogenform der Schambeine etwas näher zu analysieren.

Wir haben oben von einer Karnieslinie gesprochen, d. h. einer nach zwei entgegengesetzten Richtungen hin, also doppelt geschweiften Bogenlinie, wie sie beispielsweise an

romanischen Säulenkapitälen zu finden ist. Im Grunde genommen sind in der Darstellung des Schambogens auf Γ_λ jederseits zwei solcher Karniese zu erkennen, die sich wie zwei gleich gerichtete, aber in der Stellung unter sich etwas verschobene SS kreuzen. Der Kreuzungspunkt liegt an der scharfen Spitze des aufsteigenden Sitzbeinstachels bei S (Fig. 100).

Am Beckenmodell habe ich den direkten Abstand von S zu S' zu 6,5 cm gemessen. Der Ordinatenabstand von S ist somit $S_x = \frac{6{,}5 \text{ cm}}{2} = 3{,}25$ cm.

Gegen den Scheitel des Arcus pubis hin spalten sich beide Karniese wieder, indem der „innere" nach dem Scheitelpunkt A und nach dem Ansatz des Lig. pubicum superius



Figur 100.

hin verläuft, während der „äußere", der die Crista clitoritis bildet, nach A_2, dem Grenzpunkt des Lig. pubicum inferius der Lamina fibro-cartilaginea interpubica hinzielt.

Erstellen wir die Verbindungslinie $S'S$, so geht sie durch den Ordinatenpunkt Q.

Vom Ordinatenpunkt Q wird mit der Zirkelöffnung $QS = 3{,}25$ cm die obere Hälfte des „äußern" Karnieses gezeichnet. Lege ich einen rechten Winkel an die untere Hälfte des „innern" Karnieses, der den Kufenfixpunkt L trägt, so liegt der Scheitelpunkt dieses Winkels auf der y_λ-Achse in einer Lage, die zugleich derjenigen der Urethramündung entspricht.

Was nun das Projektionsbild des kugelförmigen Beckenbodengewölbes auf Γ_λ anbetrifft, so erscheint es in seinen vordern Partien ziemlich unverkürzt, während es ungefähr von der Mitte ab, oder etwa vom Punkte R_λ (Fig. 99, 100) ab stark verjüngt ist. Die Wölbung hat nach unsern direkten Messungen an zahlreichen lebenden weiblichen

Individuen*) eine Totallänge von $12\frac{1}{2}$—13 cm und in ihren einzelnen Partien und vom Scheitelpunkt des Arcus pubis (A) an gerechnet, normalerweise etwa folgende Lagekoten

Orific-urethr.	Intr. vagina	Commiss post	Anus	Spite des Os coccyg.
$0—\frac{1}{2}$	$1—2\frac{1}{2}$	3—4	7—8	12—13

und am Ende der Schwangerschaft

0	$\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}—7$	12	15

Nach diesen Angaben läßt sich auch das Bild des äußern weiblichen Geschlechtsapparates aus Γ_1 auf Γ_λ übertragen und ebenso die genaue Lage des Uterus, dessen Drehpunkte am Fundus uteri in N_u bzw. $M_u)_\lambda$ liegen, während die Portio cervicis auf der Beckenbodenebene (AD bzw. $A\Omega$) aufsitzt. Die Drehachse des Uterus erhält aber mit auf y_λ die Ordinatenkote von T_λ; die Portio erscheint nach vorne gerichtet und hat den Muttermund im Ordinatenpunkte Q. Nach hinten zu wird diese Partie noch um ein weniges überragt von der hintern Kommissur. Der Anus entspricht der Lage nach dem D-Punkte (Steißbeinspitze).

Der Neigungswinkel der Beckenbodenebene $(AD)_1$ zu Γ_λ ist auf Γ_1 zu berechnen. Es ist dort

$$\angle(LAD)_1 = 180^\circ - (116^\circ + 7\tfrac{1}{2}^\circ) = 180^\circ - 123\tfrac{1}{2}^\circ = \underline{56\tfrac{1}{2}^\circ};$$

somit beträgt der Winkel, den die beiden Ebenen zueinander einschließen $= 56\frac{1}{2}^\circ$.

8. *Oberschenkelstellung zum weiblichen Beckenring.*

(Hierzu Tafel XV.)

Die Tatsache, daß beim weiblichen Beckentypus nach der Pubertät nicht nur eine Lageverschiebung, sondern auch eine Verkürzung der Drehachse stattgefunden hat, wodurch die Regelmäßigkeit des Achsenkreuzes aufgehoben wird, die wir beim männlichen Typus aufstellen konnten, schon diese Erkenntnis läßt vermuten, daß die statischen Verhältnisse der Rumpfstütze wesentliche Veränderungen erfahren haben müssen.

In der Tat scheint die Gleichgewichts- und Ruhestellung der Schenkel in bezug auf das vertikal orientierte Beckenviereck beim Weibe eine völlig andere geworden zu sein als beim Manne, was schon durch den bloßen Augenschein zweier Beckenmodelle verschiedenen Geschlechtes konstatiert werden kann, sofern die Oberschenkelansätze in Verbindung mit dem Beckenring wohl präpariert erhalten sind. Daß Stellung und Haltung der Oberschenkel wie die Gangart überhaupt geschlechtlich differenzierte Eigentümlichkeiten zeigen, ist auch jedem Laien wohl bekannt.

Inwieweit die ausgedehnte und mit den ausgeklügeltsten Apparaten durchgeführten anthropometrischen Untersuchungen an einzelnen, zum übrigen Skelette losgelösten Oberschenkelknochen**) von anthropologischer Bedeutung sind, ist hier nicht zu beurteilen.

Ich für meinen Teil kann mich des Gefühles nicht entwinden, daß durch diese Methoden die Forschung im Kleinen sich verliert, ohne dem großen Ziele näher zu kommen. Bei der Untersuchung der Kausalität der Form wenigstens dürfen wir sie beiseite lassen, denn diese verlangt in erster Linie Rücksichtnahme auf die Relationen und äußern Verumständungen, die bei der Entstehung der Form von Einfluß gewesen sein konnten.

*) Vergl. Arch. f. Anat. und Physiol. Anat. 1896. S. 332.

**) Siehe MARTIN, Lehrbuch der Anthropologie. 1914. S. 922.

Wenn schon H. MEYER seinem bahnbrechenden Grundgedanken, den Rumpf als Einheit zu behandeln, seinerzeit selber untreu geworden ist, so sind ihm die spätern Anatomen und Anthropologen hierin gefolgt. Der Gedanke, daß der Beckenring als eine Verstärkungszone der Rumpfwand aufzufassen sei, an der der Stützapparat befestigt erscheint, ist erst von H. STRASSER wieder aufgenommen worden; er ist in dem neu erschienenen Lehrbuch des Anthropologen MARTIN, aber wieder verloren gegangen. Das Becken wird hier nämlich als Unterabteilung beim „Extremitätenskelett" behandelt.

Nach dieser mechanistisch unrichtigen Auffassung wird das Becken notgedrungen in ein viel zu starres Abhängigkeitsverhältnis zur untern Extremität gebracht; es wird zur „abhängigen Größe der Funktion". Die statisch-mechanischen Kausalmomente, die im Beckengurt einen Teil der Rumpfwand erblicken lassen und seine Form bedingen, sind ebensogut im Innern der Rumpfblase nachweisbar wie die von außen kommenden. Der Gegendruck der Außenwelt auf diese Rumpfblase freilich manifestiert sich in erster Linie in den Femurköpfen. Durch Ausgleich innern und äußern Druckes und Gegendruckes auf die Körpermasse entsteht ihre Form.

Wenn sich nun am weiblichen Beckenring mit den Acetabula die Drehachse nach vorne und oben verschiebt und zugleich verkürzt, so ist dies mit ein Beweis, daß sich die beiden Komponenten, wenn nicht verändert, so doch mit Bezugnahme auf die Schwergewichtslinie des Rumpfes verschoben haben.

Die Einfügung der Femora in den Beckengürtel ist infolge der Ausweitung und Umwandlung der weiblichen Beckenform ebenfalls eine andere geworden, und der Durchmesser des weiblichen Oberschenkelkopfes erscheint reduziert. All diese Momente ziehen naturgemäß weitere Veränderungen in der Formkomposition von Kopf, Hals und Schaft amFemur nach sich.

Was speziell die Formbildung des knöchernen Beckens und der zugehörigen benachbarten Skeletteile (V. Lendenwirbel, Femurkopf, Tuber ischii) anbetrifft, so ist sie nach den Ergebnissen unserer Analyse in ihrer Hauptsache geregelt durch das Größenverhältnis der beiden Kreise (Kugeln) zueinander, deren Durchmesser in konstantem Verhältnis (φ) stehen.

B.S.58. **Alle Größenverhältnisse der Form stehen im Banne dieser konstanten Korrelation, also im Banne eines mathematischen Systems.** Die eine Größe ist stets wieder von einer zweiten oder von mehreren andern zugleich abhängig gemacht.

Es möge mir gestattet sein, die wichtigsten Momente dieses konstanten Verhältnisses, wie es sich männlich und weiblicherseits in völlig voneinander abweichendem Bilde repräsentiert, nochmals in übersichtlicher Weise zu skizzieren.

Die Figuren sind unsern Konstruktionstafeln in der Weise entnommen, daß dabei nur das System hervorgehoben ist, Knochen und Weichteilkonturen jedoch, um nicht zu verwirren, weggelassen sind, mit der einzigen Ausnahme des Femurkopfes, der uns hier speziell interessiert und zwar in Verbindung mit den Achsen des obern Femurstückes. Ich unterscheide in Verbindung mit dem Becken wieder folgende Oberschenkelachsen und Achsenrichtungen: 1. Die Drehachse des Rumpfes, 2. die Collumachse, 3. die Trochanterachse, 4. die Schaftachse; die fünfte Achse, die am Femur noch in Betracht käme, die Epiphysenachse, lassen wir hier noch aus dem Spiel.

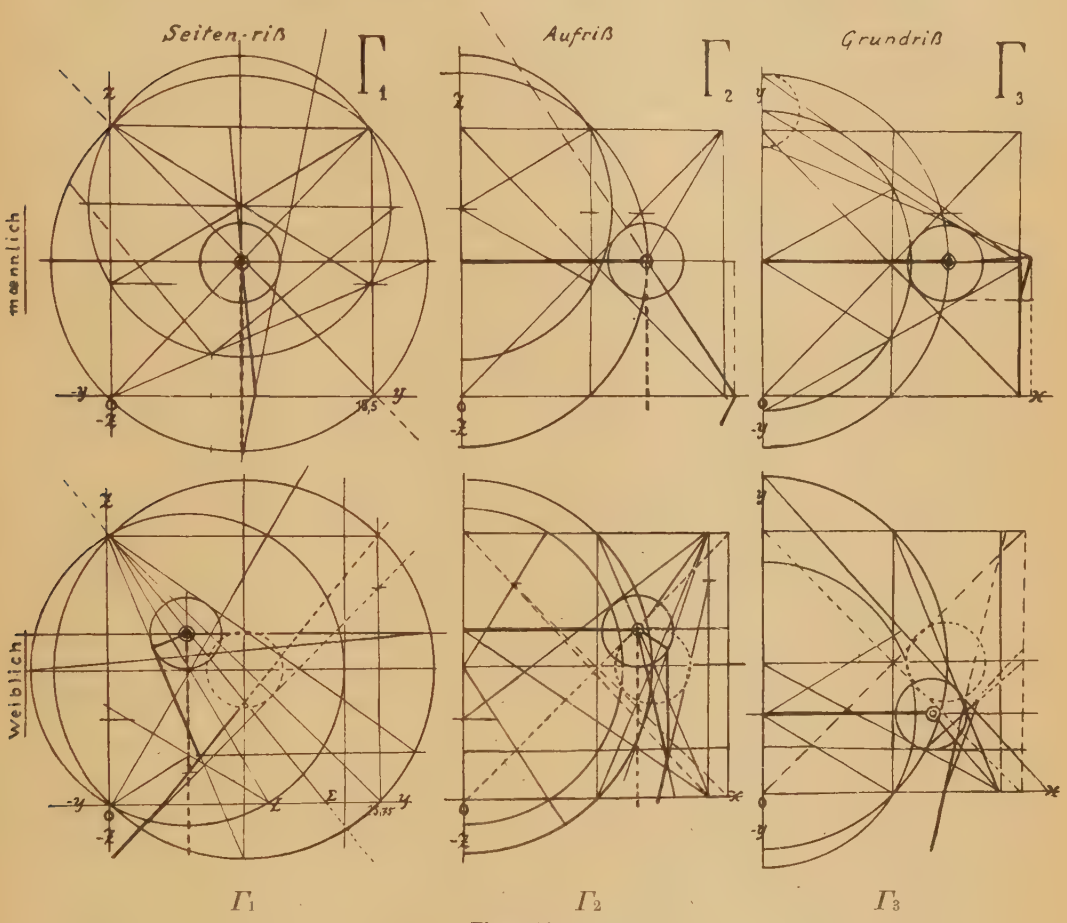
Aus dieser zusammenstellenden und vergleichenden **Tangentenkonstruktion** geht am besten **die Tangentenkonstruktion des Femurkopfes** hervor:

A. Männlich.

1. Die männliche Drehachse geht durch das Zentrum des formerhaltenden P-Kreises (Seitenriß Γ_1).

2. Der Femurkopf wird innen von den beiden Diagonalen des Beckenviereckes tangiert (Aufriß und Grundriß Γ_2 und Γ_3).

3. Beim Grundriß ist außerdem noch eine äußere Tangierung ersichtlich, welche vom Trochanterfixpunkt aus nach den beiden Ordinatenpunkten des M-Kreises hin verläuft. Als Trochanterfixpunkt bezeichne ich den Schnittpunkt der Collum- und der



Figur 101.

Das mechano-statische Konstruktionsprinzip des männlichen und weiblichen Beckentypus in Verbindung mit dem Schenkelkopf auf den drei Hauptebenen Γ_1, Γ_2, Γ_3.

Diaphysenachse des Oberschenkels. Er liegt im Grundriß des Beckens in der Verlängerung der Seelenachse auf der äußern Seite des Beckenviereckes.

4. Die Darstellungen auf Γ_3 und Γ_1 weisen innere Tangenten auf, welche Blasenkugel und Femurkopf wechselseitig berühren und von einem Beckenfixpunkte ausgehen, nämlich im erstern Falle vom Promontoriumspunkt H_1, im zweiten vom Medianpunkt der Tubercula pubis (C').

Diese innern Tangenten sind — da in Figur 98 die dynamisch formende Blasenkugel weggelassen worden — auf Tafel V und VI nachzusuchen.

B. Weiblich.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse weiblicherseits.

5. Die weibliche Drehachse liegt vertikal über dem Zentrum des formerweiternden Φ-Kreises und über dem Scheitelpunkt A des gleichschenkligen Basisdreieckes. (Seitenriß Γ_1).

6. Die äußere Tangierung des weiblichen Femurkopfes geht von der gleichseitigen Spina anter sup. ossis ilei (G) aus; der Femurkopf wird in Form und Lage bestimmt vom Radius des formerweiternden Φ-Kreises (Basis des Basisdreieckes) (Seitenriß, Aufriß und Grundriß Γ_1, Γ_2 und Γ_3). Der Tangentenwinkel t, der zwischen den beiden von G aus gezogenen Tangenten liegt, bewertet sich auf Γ_1:

$$\underline{\underline{\sphericalangle t = \sphericalangle \varepsilon = 30^p}}$$

7. Die wechselseitige innere Tangierung an Blasenkugel und Femurkopf geht auf Γ_2 von der Steißbeinspitze D nach der gleichnamigen Spina ant. sup. oss. ilei (G) Tafel XIV. Auf J_2 zielt sie auf den Medianpunkt C' hin (Tafel XIII).

8. Der Femurkopf gleitet infolge der innern Ausweitung des weiblichen Beckens nach vorn oben ab, indem er stets einen Kreis berührt, der von M_u aus, dem Höhepunkt des Uterusdrehpunktes auf der Leitlinie gezeichnet wird. (Siehe Tafel XI und XIII.)

Aus dem Vergleich der äußern und innern Tangierungslinien, wenn diese auch in ihrer Anordnung große Unterschiede zeigen mögen, geht doch Folgendes mit Sicherheit hervor:

B.S. 59. **Prinzipiell ist der Femurkopf als ein Teil der Beckenkonstruktion aufzufassen,** und zwar als eine Massierung des gleichseitigen Endpunktes der Drehachse. Man hat sich dabei den Gelenkkopf als eine mathematische Kugel zu denken, die in den Beckenring eingelassen ist. In der sie umgebenden Knochenmasse (Acetabulum) ist diese Kugel frei beweglich; ihr Mittelpunkt behält als physikalischer und mathematischer Endpunkt der Drehachse bei jeder Drehung der Kugel ihre relative Lage zu den übrigen Punkten des Beckenringes bei.

Im Fernern macht diese Drehachse in der Statik des menschlichen Rumpfes, der nur eine Balancierachse kennt, entschieden den wichtigsten Faktor aus. Es hat sich daher die ganze Beckenform mit den verdickten Endköpfen dieser Achse ins Einvernehmen um so mehr zu setzen, als sie einerseits selber ja einen Teil der Rumpfwandung ausmacht und anderseits ihre eigene Gestaltung durch Selbstformierung der Masse zu bewerkstelligen vermag. So entstehen die zahlreichen geometrischen Relationen, aus denen wir bei unserer Analyse der Form nur vereinzelt einiger Tangentenbeziehungen inne geworden sind. Aber gerade in der Tangentenkonstruktion erblicken wir ein überaus feinfühliges kritisches Instrument, da sie ebenfalls auf einer mathematischen Funktion des Kreises beruht und besonders scharf funktioniert, wenn es sich um die Konstruktion einer sog. inneren Tangente handelt, die von einem gegebenen Punkte aus so gezogen werden soll, daß sie wechselseitig zwei Kreise von gegebenem Durchmesser berührt.

Das MEYERsche Naturgesetz nun bezeichnet die Beckenstellung an der vertikalen Pubospinalebene bei beiden Geschlechtern als die „ungefähre" Beckengleichgewichtslage für den Steh- und Gehakt des Individuums.

Als statische Beckenachse haben wir bei beiden Geschlechtern verschiedene Linien erkannt. Diese geschlechtliche Verschiedenheit manifestiert sich vor allem in der verschiedenen relativen Lage des Drehpunktes zum mathematischen Beckenzentrum und konstruktionellen Schwerpunkt und ist in ihrer Lagerelation zu den übrigen Beckenfixpunkten wohl begründet.

Am männlichen Becken hat die statische Achse GZ die konstante Neigung von 45°, beim weiblichen ist $G\Sigma$ noch stärker aufgerichtet. Ihr Neigungswinkel zur Horizontalen beträgt $52^1/_2°$. Die statische Beckenachse ist also auf Γ_1 jeweils von der Mitte der Interspinallinie durch die Mitte der Drehachse zu legen. Ist einmal das Becken selber in seiner Gleichgewichtslage an der Pubospinalebene fixiert worden, so nehmen die Oberschenkel in ihrer natürlichen Ruhelage eine Richtung nach vorn, also eine Beugestellung ein (s. Tafel VII u. XV).

Diese Beugestellung finden wir beim weiblichen Modell weit stärker ausgebildet, als wir dies männlicherseits schon konstatiert hatten. Dieser prinzipielle geschlechtliche Unterschied in der Stellung der Femora und die damit im Zusammenhang stehende charakteristische Formveränderung ist wieder nur die notwendige Folge der Wanderung der Drehachse beim weiblichen Geschlecht bzw. der vermehrten Aufrichtung seiner statischen Beckenachse um $7\frac{1}{2}°$, nämlich von 45° bis zu $52\frac{1}{2}°$.

Was die Einfügung des Femurkopfes in den Beckenring anbetrifft, so ist es schon von vornherein einleuchtend, daß weiblicherseits die Verlegung der Acetabula von der Beckenseite nach vorn hin ganz andere statische Verhältnisse schaffen, als beim Manne und auch beim Mädchen vor seiner Pubertätszeit. Die eingetretene Veränderung macht sich ja in der Gangart deutlich bemerkbar, indem die Schenkelhaltung nach Eintritt der Reife entschieden eine mehr flektierte und nach innen rotierte geworden ist. Der Gleichgewichtszustand ist mit der Wanderung der Drehachse ein labilerer, wenn auch statographisch stabil geworden. Das geht schon aus dem Umstand hervor, daß die männliche Drehachse durch das im Zentrum des formerhaltenden P-Kreises selber geht, während die weibliche in verkürzter Form vor dieses Zentrum zu liegen kommt. Es wird dadurch ein Mechanismus geschaffen, der im Prinzip von der Buddelkonstruktion, wie wir sie beim männlichen Beckentypus (Tafel VI) nachgewiesen, nicht abweicht, wohl aber dessen Labilität wesentlich erhöht.

9. In der Gleichgewichtsstellung des Oberschenkels liegt aber auch weiblicherseits die Collumachse in einer Vertikalebene, die durch die Drehachse geht und ⊥ zur Pubospinalebene steht. Äußerlich wird diese Ebene am Oberschenkelhals deutlich markiert durch eine markante Linie am äußern Rande des Ligamentum ileo-femorale (Bertini); sie setzt sich auch in horizontaler Richtung auf den Trochanter hin fort.

Während nun die Richtung der männlichen Collumachse durch die Verbindungslinie des Drehpunktes P mit dem Abszissenfixpunkt L gegeben erscheint, wobei ihre Verlängerung nach oben durch den Promontoriumspunkt H^k geht, so verläuft die weibliche nicht bis zur Beckenabszisse hinunter. Sie stößt schon auf der Höhe zwischen dieser und dem Scheitelpunkt A auf die Trochanterachse. Trotzdem ist die weibliche Collumachse länger als die männliche aus dem einfachen Grunde, weil der Drehpunkt II einen höhern Ordinatenwert als der männliche Drehpunkt P besitzt. Die weibliche Drehachse ist ja bei ihrer Wanderung nicht nur relativ, sondern auch absolut in die Höhe gestiegen (vgl. unten Fig. 102a, b und Tafel VII u. XV). Die Richtungsebenen der Collumachsen bei den beiden Geschlechtern differieren um einen Winkel von 5° (männlich 85°, weiblich 90°).

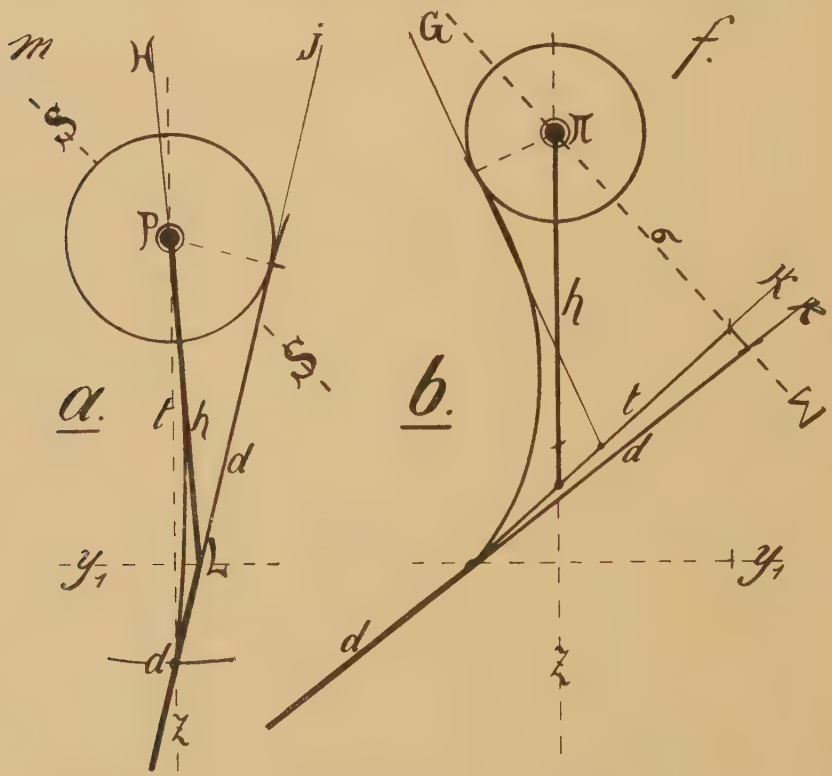
10. Begriff und Bezeichnung „Trochanterachse" sind neu. Sie konnten erst entstehen mit der seitlichen Projektion des obern Femurteils in Verbindung mit der orthogonalen Darstellung der ganzen Beckenform. Unsere angewandte Methode ergibt nämlich folgende interessante Tatsachen:

a) Formbildung und Achsenstellung des obern Femurstückes stehen im Zusammenhang mit der Gestaltung und Erhaltung der Beckenform.

b) Sie werden daher auch von ihrer geschlechtlichen Differenzierung beeinflußt, müssen also geschlechtlich verschieden sein.

c) Der Trochanterteil steht in seiner Formbildung noch ganz im Banne des Beckensystems, während der Diaphysenteil nur in der Gleichgewichtsstellung noch seine Achse nach bestimmten Beckenpunkten hin richtet.

d) Die Grenze zwischen Diaphysen- (*d*) und Trochanterachse (*t*) liegt bei beiden Geschlechtern auf der Höhe der Beckengrundebene y_1 (Tafel VII, VIII, XV u. Fig. 102).



männlich Figur 102a, b. *weiblich*

Federtangenten am Femurkopf.

11. a) Die Ebene der Diaphysen- oder Schaftachse geht männlicherseits durch den Fixpunkt *L*, tangiert hinten den Femurkopf und verläuft nach dem Hypomochlion des Lendenknicks, dem Spinalpunkte *J*.

b) Die Schaftachse des weiblichen Oberschenkels geht durch den Schnittpunkt der Σ-Achse mit der Beckenbodenebene und zielt nach dem Endpunkt der Columna spinalis (*K*) hin. Von der Höhe der Beckengrundlinie (Γ_3) ab aber weicht die Richtung des Trochanterstückes nach oben ab. Dadurch entsteht die neue Trochanterachse, welche vom Schnittpunkt der Diaphysenachse mit der Beckenabszisse y_1 aus gegen den Viereckspunkt *K* hin verläuft und die Σ-Achse da schneidet, wo diese durch die *P*-Ordinate (p'') des Beckens geht. Der Winkel, den diese beiden Achsen zusammen einschließen, beträgt wieder 5° (Tafel XV).

Eine hintere Tangierung am Femurkopfkreis ist durch keine dieser beiden Achsen möglich wie beim Manne, aber wir erinnern uns daran, daß ja weiblicherseits die Tangentenkonstruktion vom G-Punkt aus bewerkstelligt wird (Fig. 101, 4—6). Die untere äußere Tangente, die ihren Fußpunkt im Tiefstpunkt Q des P-Kreises findet, scheint mir nun in modifizierter Weise die mechanische Funktion zu übernehmen, die männlicherseits die tangierende Diaphysenachse ausführt, die Funktion einer Druckfeder.

Diese von G an den Femurkopfkreis gezogene Tangente berührt zugleich auch die Spina anterior infer. ossis ilei, sowie die schöne Bogenlinie des weiblichen Collum femoris und entspricht damit, indem sie in einem wohl markierten Punkte der Trochanterachse endet, ihrer Richtung und mechanischen Wirkung nach durchaus dem ligam. ileo-femorale (siehe H. MEYER, Statik und Mechanik, Seite 288 und Lehrbuch, III. Auflage, Figur 119).

Damit wollen wir die analytischen Betrachtungen der weiblichen Beckenform schließen und im Anschluß daran — obgleich in Fig. 101 das Konstruktionsprinzip, ihr mathematisches System und dessen Abweichen vom männlichen System bereits hinlänglich festgestellt erscheint — wollen wir es doch nicht unterlassen, der Analyse einige synthetische Aufgaben beizufügen. Ihre Lösung wird die Tatsache bestätigen helfen, daß beim Aufbau der ausgewachsenen weiblichen Beckenform neue Kraftmomente im Spiele sind.

B. Synthese der weiblichen Beckenform.

Zur Lösung synthetischer Aufgaben übergehend, finde ich es ratsam, zuvor noch auf einen Punkt hinzuweisen.

Schon das Auffinden eines mathematischen Systems der Lageverteilung morphologisch hervorragender Punkte am männlichen Beckenskelett durch die analytische Zerlegung seiner Form mußte in hohem Grade überraschen. Dieser Fund erhielt seine Erklärung sodann durch das physikalische Experiment; er wurde bestätigt und ergänzt durch die Lösung synthetischer Aufgaben.

Dasselbe System trat sodann, freilich mit namhaften Modifikationen in der Anordnung bei der Formanalyse des weiblichen Beckentypus zutage. Wir fanden auch hier wieder dasselbe Kreissystem mit ähnlicher Winkelteilung und mit derselben konstanten Verhältniszahl der Radiengrößen zueinander.

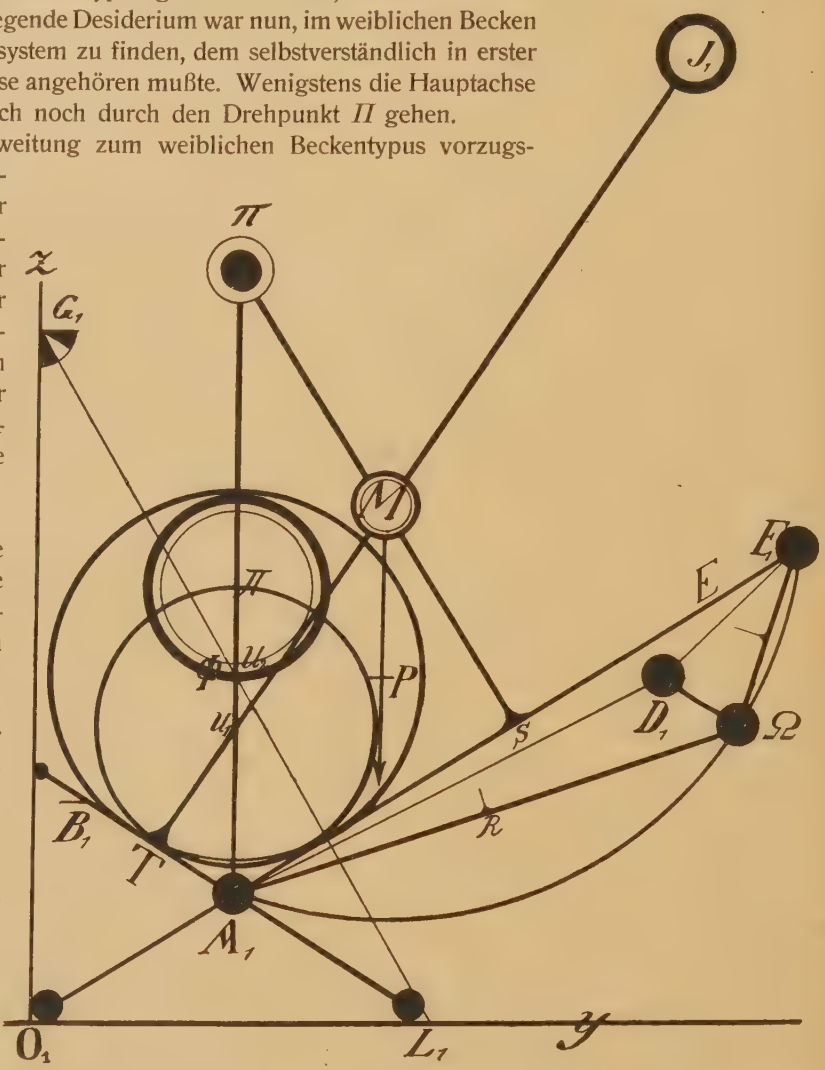
Aber von unsern Beckenfixpunkten, die wir möglichst adäquat derjenigen am männlichen Becken aufstellten, waren hier nur noch vier, nämlich G, K, K, L, mit absoluter Sicherheit in ihrer Lage auf den Peripherien der Kreise oder auf den Seiten des eingeschriebenen Vierecks zu bestimmen. Die Bestimmungsmöglichkeit aller übrigen Punkte der weiblichen Form, wie sie uns in ihrer gegenseitigen Lage durch die Projektionsbilder präsentiert wurden, war nach dem gegebenen System zunächst eine bedingte. Es mußten neue Anhaltspunkte gesucht und gefunden werden.

Schon zur systematischen Orientierung jener vier genannten Punkte auf der Medianebene Γ_1 waren außer des formerhaltenden P-Kreises zwei formbildende Kreise notwendig gewesen, die mit demselben Radius an zwei der Viereckseiten angelegt worden, wie seinerzeit der M-Kreis an die obere Seite G–K dieses Quadrates (männliche Beckenbasis b). Die vordere Quadratseite ($a = b$) (Figur 92) erhielt in analoger Weise angelagert den Φ-Kreis ($R_m = R_\varphi$). Damit war nicht nur das Zentrum Φ, sondern auch der Abszissenpunkt L gegeben.

Die weibliche Drehachse ist im Vergleich zur männlichen gewandert und verkürzt. Damit ist aber auch das regelmäßige Achsenkreuz einer tesseralen Krystallform, wie wir es beim männlichen Beckentypus gefunden hatten, zerstört.

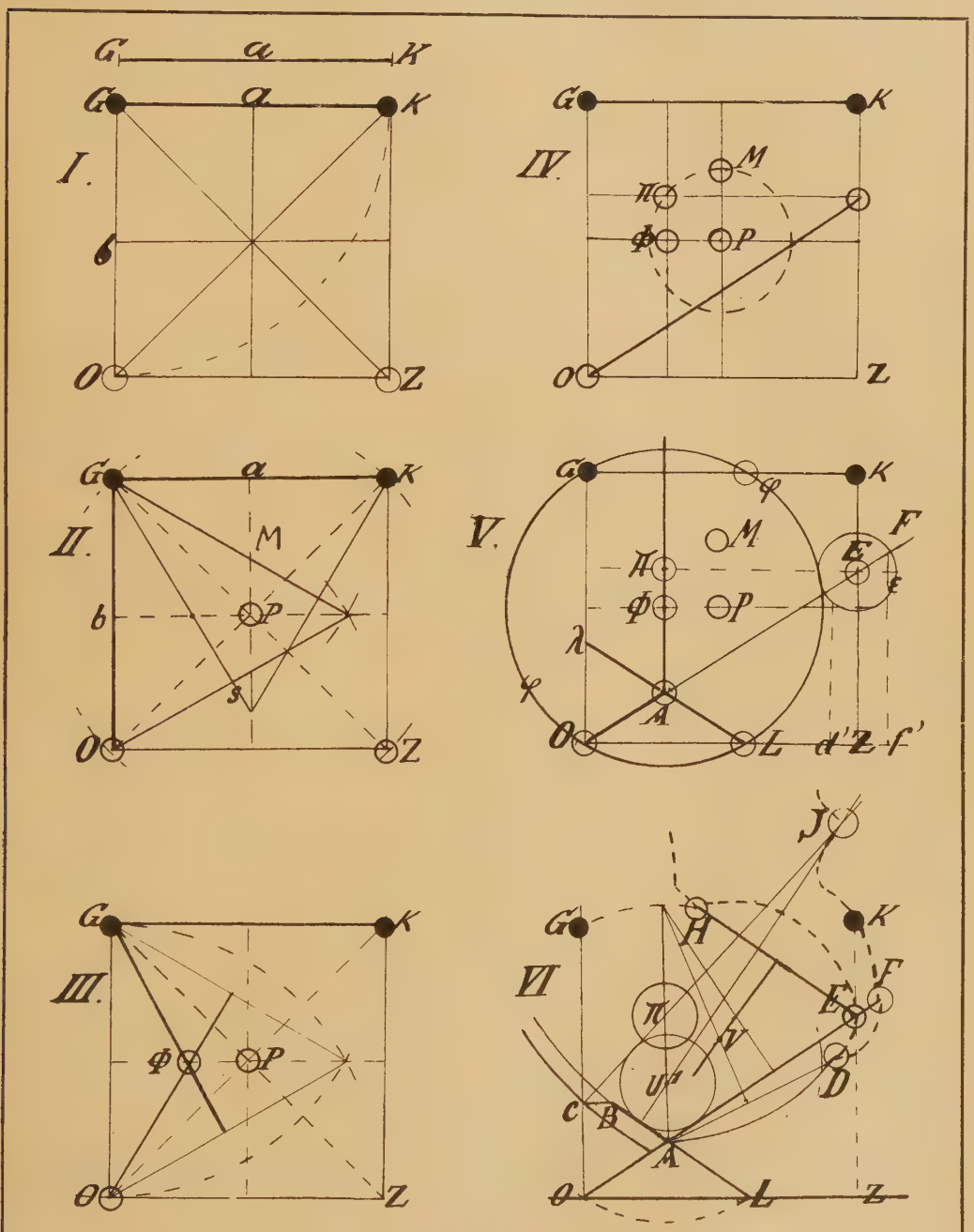
Das nächstliegende Desiderium war nun, im weiblichen Becken ein neues Achsensystem zu finden, dem selbstverständlich in erster Linie die Drehachse angehören mußte. Wenigstens die Hauptachse sollte daneben auch noch durch den Drehpunkt Π gehen.

Da die Ausweitung zum weiblichen Beckentypus vorzugsweise im Beckeneingang wie in der Beckenmitte nachweisbar ist in der Weise, daß sich der Beckenring augenscheinlich in seinen obern Partien mehr ausweitet als in seinen untern, so hätte es vielleicht richtiger geschienen, wenn wir diese neue statische Achse vom Konstruktionspunkte Z_1 aus durch Π gelegt hätten. Aus verschiedenen Gründen zogen wir jedoch den gegenüberliegenden, über dem Beckeneingang befindlichen Spinalpunkt G als Ausgangspunkt für die neue Σ-Achse vor. Schon der Umstand, daß dieser Projektionspunkt zum Durchschnittspunkt dreier Kreise geworden, mußte hierfür bestimmend sein. Zudem ist seine Lage am Becken selber bestimmbar. — Das Aufsuchen dieser neuen Haupt- oder Längsachse (Σ) führte dann zur Entdeckung eines neuen mathematischen Systems, das im Rahmen des frühern gewissermaßen selbständig funktioniert. Es ist das System des gleichschenkligen Basisdreieckes, auf dessen Scheitelspitze die Vertikalachse mit dem Drehpunkte Π zu stehen kommt. Die Höhe b dieses Basisdreieckes kann verschieden sein. Hiervon hängt die Neigung der innern Symphysenwand AB und diejenige der Beckenboden-



Figur 103.
Schema des mechanisch-funktionellen Zusammenhangs der Projektionslinien auf Γ_1 am Beckenausgang beim Weibe.

linie AE ab; beide sind gleich geneigt. Die gleiche Ordinatenhöhe wie E hat auch der Drehpunkt II. Wir müssen also auch gewisse Anhaltspunkte über dieses neue System besitzen, ansonst die Synthese der Form nur schwer und auf Umwegen zu bewerkstelligen wäre.



Figur 104 I—VI.

Synthetische Aufgaben (Fortsetzung der synthetischen Aufgaben am männlichen Typus).

Aufg. VI. *Aufgabe VI.* (Hierzu Fig. 104.)

Gegeben: Die Beckenbasis $G—K = a$, horizontal am Becken gemessen, (Intraspinal-Linie GG—K, Proc. spinos. sacr. III). Zu suchen ist die Lage aller übrigen Projektionspunkte der normalen weiblichen Beckenform auf Γ_1.

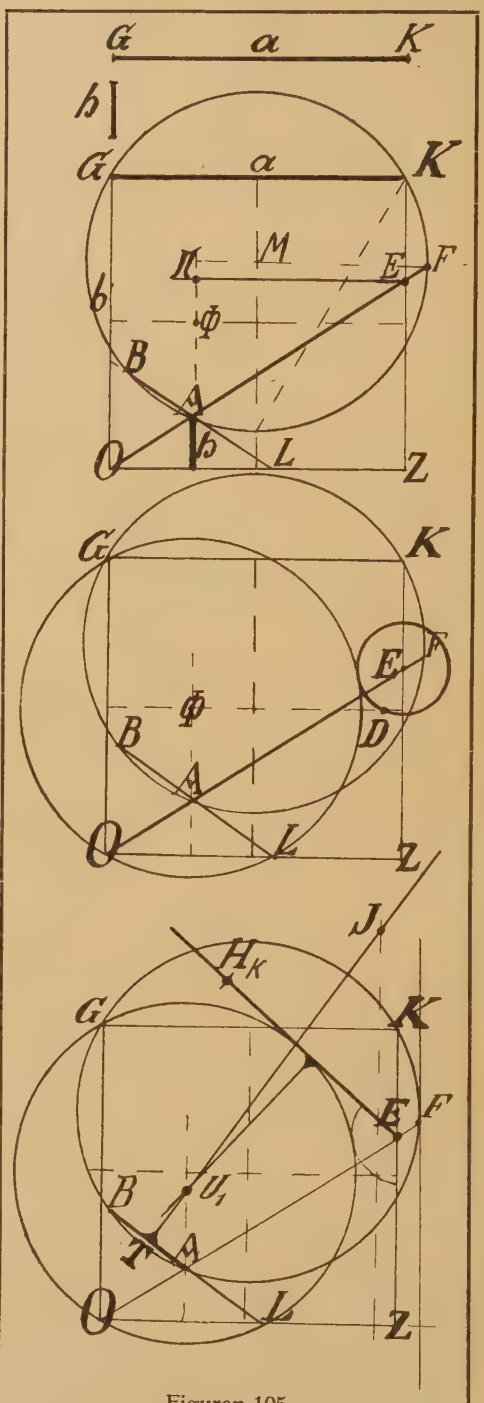
Auflösung: GK ist die obere, horizontal orientierte Seite des Beckenquadrates $GKZO$. Es ist also die vertikale Seite b (Figur 104) $= a$. Danach konstruiert sich das Beckenquadrat mit dem umschriebenen P-Kreis. Die Ordinatenachsen z und y sind bestimmt. Im fernern wird a zur Dreieckseite im M-Kreis, b zur Dreieckseite im Φ-Kreis. Die Lage von M und Φ bestimmt sich durch die Lote der Dreieckseiten, M auf der Ordinatenachse, senkrecht über von P, Φ auf der Abszissenachse, beide in gleichem Abstande von P. Der zweite Schnittpunkt des Φ-Kreises auf der Grundlinie y des Quadrates ergibt die Lage von L.

Mit der Errichtung dieses „äußern" Systems ist unser Können erschöpft. Wohl wissen wir noch, daß der Drehpunkt Π senkrecht über dem Kreiszentrum Φ und A senkrecht unterhalb dieses Zentrums und senkrecht über der Mitte von OL liegt. Ihre genaue Lage zu bestimmen, ist so lange unmöglich, als nicht noch irgendeine weitere Angabe aus dem „innern" System vorliegt.

Aufg. VII. *Aufgabe VII.*

Gegeben: a und h (Höhe des gleichschenkligen Basisdreieckes). Zu suchen: Wie Aufgabe VI. (Hierzu Figur 105, I—III.)

Auflösung: Wie in Aufgabe VI. — Nachdem Φ gefunden, trage ich auf der Vertikalen, die durch Φ geht, von der horizontalen Abszisse aus die Größe von h auf und erhalte so die Spitze A des gleichschenkligen Basisdreieckes OAL. Ich verbinde A mit O und L und verlängere diese Linien nach oben, nämlich AB bis zum Schnittpunkt mit dem M-Kreise $AE(F)$ bis zum Schnittpunkt mit der Quadratseite KZ. F liegt in der Verlängerung von OAE auf dem M-Kreise; auch der Drehpunkt Π ist gegeben auf der Verlängerung von $A\Phi$; denn er

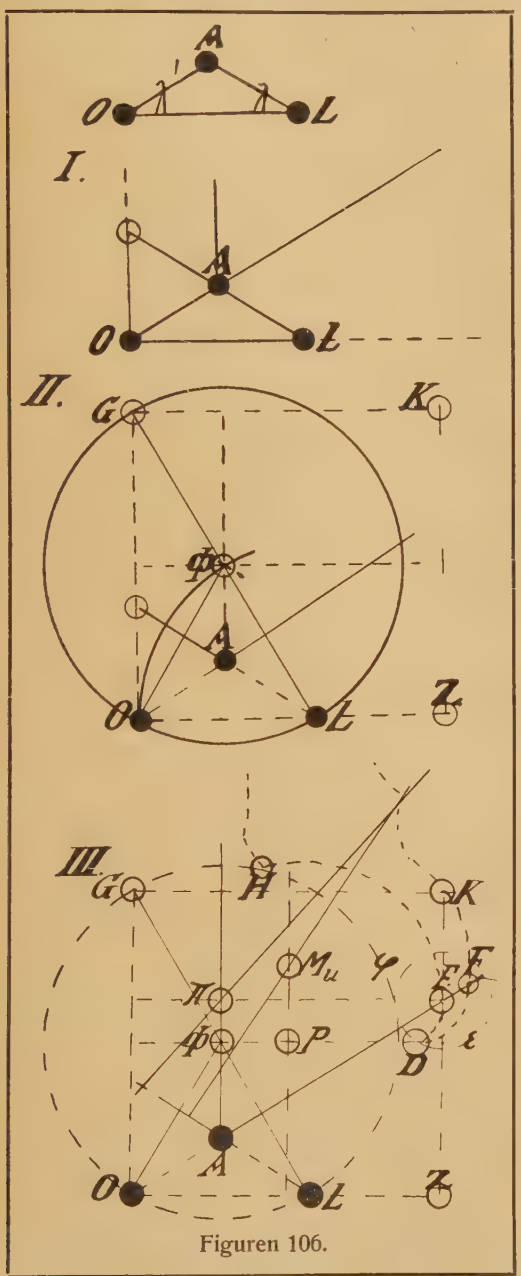


Figuren 105.

hat die gleiche Ordinatenkote wie E. D liegt als Schnittpunkt auf der Abszissenachse von P, wo diese von der Peripherie eines Kreises geschnitten wird, welcher sein Zentrum in E hat und so beschaffen ist, daß er den P-Kreis berührt.

Noch bleibt übrig: die Konstruktion des Lendendaches und Lendenknicks.

Die Rafenlinie EH_k tangiert ebenfalls den Φ-Kreis und stützt sich mit seinem Perpendikel auf das Zentrum des kleinen Blasenkreises U_1, das auf dem Perpendikel T (Leitlinie) der innern Symphysenlinie AB zu suchen ist. Lage und Länge (auf der Peripherie des M-Kreises) von AB sind bekannt, ich errichte auf der Mitte derselben die Leitlinie T. In ihrem Schnittpunkt mit ΦA liegt U_1. Ich ziehe von hier aus die Senkrechte auf die Rafenlinie EH_k; dann ist H_k gegeben, da das Lot auf ihrer Mitte steht.



Figuren 106.

Etwas umständlicher ist die Bestimmung der Lage von J und K, welche als Pivotpunkt und Endpunkt des Verstärkungsgrates (columna spinalis) der Wirbelsäule bei der Lendenknickbildung von Bedeutung sind. Ziehe ich eine Vertikaltangente hinten an den M-Kreis, so kann ihr oberer Schnittpunkt mit dem P-Kreis als Sitz von K bezeichnet werden. So viel wie diese Vertikaltangente auf der Beckenabszisse y den Punkt Z überragt, so viel kleiner ist die Abszissenkote von J als diejenige von Z. Jetzt ist auch die Lage von J auf der Leitlinie T bestimmt. Ich verbinde J mit Π und verlängere diese Gerade bis zur Ordinatenachse. Damit erhalte ich C auf dieser Vertikalen. Die „Mächtigkeit" der Wirbelsäule ist gegeben durch den Radius des M- und Φ-Kreises ($R_m = R_\varphi$), den ich von J als Zentrum aus einsetze zur Abgrenzung des Promontoriums. H_k, H_l und I bleiben innerhalb dieser Kreisperipherien (s. Taf. VIII u. IX).

Die dynamischen Eingeweidepunkte N_u und M_u sind durch das Lot auf der Beckenbodenebene AD und AE und die Leitlinie TJ bestimmt. U_2 liegt in Φ. — Damit ist die Aufgabe gelöst.

Aufgabe VIII. **Aufg. VIII.**

Gegeben: Das gleichschenklige Basisdreieck. OLA mit der Basis OL auf der horizontalen y-Achse. $\angle\lambda = \angle\lambda'$.

Auflösung: Da die drei Eck-Punkte des Dreieckes auf die beiden Systeme fallen, O und L auf das äußere, A auf das innere System, so scheint uns schon von vorne herein

eine Lösung der Aufgabe möglich zu sein. Wir legen die Basis des Dreieckes OLA an die Horizontale y-Achse und errichten in O senkrecht dazu die Ordinatenachse Z. B und EF kommen irgendwo auf die Verlängerung der beiden andern Dreieckseiten zu liegen. Im Scheitelpunkt A errichte ich die Vertikale und ziehe vom Dreieckspunkte L aus mit dem Radius OL einen Kreisbogen; er schneidet diese Vertikale in Φ. So entsteht das gleichseitige Dreieck $OL\Phi$, dessen Winkel $= 60^\circ$ betragen. Verlängern wir $L\Phi$, bis diese Gerade die Z-Achse in G schneidet, so ist $OG = b$; denn der $\angle OLG$ ist $= 60^\circ$. Damit wird OG zur gemeinsamen Dreieck- und Viereckseite im P-Kreis; $R_p : R_q = 1{,}2246 : 1$. Die Konstruktion dieser beiden regelmäßigen Polygone führt zur endgültigen Lösung der Aufgabe nach Lösung VII.

Aufg. IX. *Aufgabe IX.*

Gegeben: Der Radius U_1 der Minimalkugel der Blase.

Die Lösung dieser Aufgabe ist unmöglich, während sie sich beim männlichen Typus ohne Schwierigkeiten vollzieht. Dieser Umstand ist bemerkenswert, indem er uns so recht vernehmlich ins Bewußtsein bringt, daß weiblicherseits bei der Beckenformierung mehr Faktoren im Spiele sind, die aber schließlich alle miteinander in Einklang gebracht werden können. Sehr interessant und instruktiv ist dagegen die Lösung der folgenden Aufgabe.

Aufg. X. *Aufgabe X.*

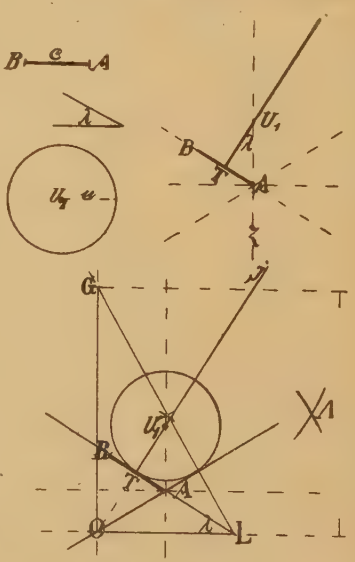
Gegeben: Länge und Neigungswinkel der innern Symphysenebene BA und der Radius u_1 der Minimalblasenkugel U_1.

Voraussetzung: Die Spur der innern Symphysenebene sei $BA = c$; ihr Neigungswinkel $= \lambda$, der Radius der Blasenkugel $U_1 = r = u_1 \cdot U_1$ liegt vertikal über A und tangiert BA.

Es muß hier zu vörderst auf einen Umstand hingewiesen werden:

Die drei nach der Voraussetzung gegebenen Stücke c, u_1 und $\angle \lambda$ bilden zusammen ein Dreieck. Da nun aber die Blasenkugel U_1 auf der Symphysenebene (BA) aufliegt, so erscheint die Spur BA der letztern als Tangente am U_1-Kreis, und zwar fällt der Tangierungspunkt T in die Mitte von BA. Es ist also

$$AT = \frac{AB}{2} = \frac{c}{2} = t.$$



Figur 107.

Durch diese Tangentenkonstruktion wird das Dreieck TUA aber zu einem rechtwinkligen, von dem die beiden Katheten c und t und der t gegenüberliegende $\angle$ bekannt sind; denn es ist $\angle TUA = \angle \lambda$.

Die Größenverhältnisse müssen also so gewählt sein, daß $\frac{t}{u_1} = \operatorname{tg} \angle \lambda$ ist, bzw. es kann in der Voraussetzung eines der drei Stücke entbehrt werden. Es ist zu suchen: Die Lagebeziehung der übrigen Fixpunkte der weiblichen Beckenform auf Γ_1.

Lösung. Auf die horizontale y-Achse eines vertikal orientierten Achsenkreuzes wird der $\angle \lambda$ zweimal in der Weise angelegt, daß die Scheitel auf den Kreuzungspunkt A der y- und z-Achse zu liegen kommen, und es werden sodann die beiden freien Winkelschenkel nach unten rückwärts verlängert. AB wird sodann $= c$ gemacht und auf der

Mitte T das Perpendikel TJ errichtet, das die z-Achse in U_1 schneidet. Dann steht U_1 vertikal über A und $\angle TUA = \angle\lambda$. Damit ist

$$u_1 = \frac{t}{\operatorname{tg}\lambda}$$

und es haben EA und BA gleiche Neigung zur Horizontalen: $\angle\lambda = \angle\lambda'$.

Nach B. S. 44 gehen nun sowohl die Verlängerungen von AE wie von JT durch den O-Punkt unseres ebenfalls vertikal orientierten Beckensystems. O liegt also im Schnittpunkt von AEO und JTO. Ich errichte also die neuen Ordinatenachsen $z \parallel z'$ und $y \parallel y'$ und erhalte so den Fixpunkt L auf y. Das Basisdreieck OLA mit dem Basiswinkel λ ist gleichschenklig.

OL wird nun zur Basis des gleichseitigen $\triangle OL\Phi$; der gleichnamige Winkel $OL\Phi$ ist $= 60°$. Die Verlängerung von $L\Phi$ ergibt die Lage von G im Schnittpunkt mit der z-Achse. Damit ist $OG = b = a$ bekannt und wird zur Dreieck- und Viereckseite des Beckensystems. Die weitere Konstruktion ist leicht nach Aufgabe VII.

Aufgabe XI. **Aufg. XI.**

Gegeben der Radius u_2 der Maximalkugel der Urinblase.

Lösung unmöglich, solange wir nicht auch das Verhältnis von u_2 zu R_φ oder den Neigungswinkel der Beckenbodenebene kennen.

Aufgabe XII. **Aufg. XII.**

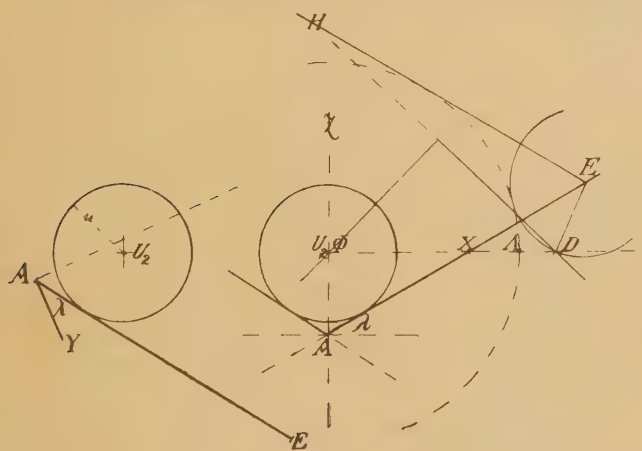
Gegeben der Radius der lotrecht orientierten Maximalkugel der Blase U_2, sowie Länge und Neigungswinkel λ der Beckenbodenebene AE, auf welcher die Kugel aufsitzt.

Voraussetzung. Der Kreis tangiert AE in der Weise, daß das Zentrum U_2 vertikal über A steht und der Neigungswinkel auf der Horizontalachse y' aufsitzt. E liegt höher als U_2.

Nach den Beweissätzen der Analyse der weiblichen Beckenform ist ferner folgenden Korrelationen Genüge zu leisten:

1. Das Zentrum des U_2- und des Φ-Kreises fallen zusammen; die Kreise sind konzentrisch, ohne daß wir das Verhältnis ihrer Radien zueinander näher festgestellt hätten.
2. Der Kreis U_2 tangiert zwei gleich geneigte, von A ausgehende Geraden AB und AE.
3. Die Steißbeinspitze D liegt auf der Abszisse von U_2, der Tangentenpunkt A auf seiner Ordinate.

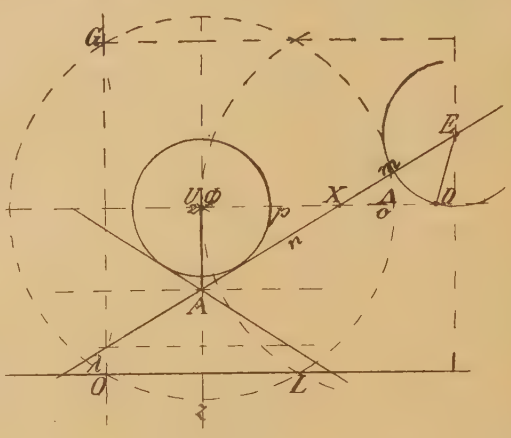
   D kommt fernerhin auf die Peripherie eines Kreises zu liegen, der von E aus gezogen den Φ-Kreis berührt.
4. Die Rafenlinie EH tangiert den Φ-Kreis, während das Perpendikel auf DH durch den Uterusdrehpunkt N bzw. U_2 geht.



Figur 108 I.

Lösung. Ich ziehe log $\angle\lambda$ an y $AZ \perp AY$ und rolle den Kreis so lange auf AE hinauf und hinunter, bis das Kreiszentrum U_2 auf AZ zu liegen kommt. Mit andern Worten: Ich ziehe die vertikale z-Achse durch den Kreismittelpunkt und wähle

auf derselben den Tangentenpunkt A so, daß der Winkelschenkel AY zur Vertikalen z senkrecht, also horizontal steht (y-Achse). Parallel zu dieser ziehe ich die Abszissenachse p durch den Kreismittelpunkt. Sie schneidet, da E höher stehen muß (Voraussetzung) als U_2, AE in einem Punkte X. AE wird dadurch in zwei Teile zerlegt, in $n+m$, ebenso UD in $p+o$. Ohne daß wir über die genauen Verhältnisse von $n:m$, und $o:p$ orientiert sind, ist die Lösung der Aufgabe unmöglich. Bei unserm Beckenmodell ist das Verhältnis $p:o=3:1$.



Figur 108 II.

Auch das Verhältnis der beiden konzentrischen Kreise bzw. ihrer Radien $u_2:R_\varphi$ ist uns unbekannt. Wir wissen nur, daß die Peripherie des Φ-Kreises irgendwo zwischen dem Zentrum einerseits und zwischen den Fixpunkten E und D anderseits durchgeht. Diese Peripherie schneidet die horizontale Abszisse UD in Δ. Ist dieser Schnittpunkt Δ und damit der Kreisradius R_φ gegeben, so trage ich von Δ aus dieselbe Zirkelöffnung $\Delta\Phi=R_\varphi$ auf der Peripherie ab. Diese Schnittpunkte ergeben uns dann die Ordinatenkote der untern und obern Seite des Beckenquadrates, indem wir durch dieselben die Linie parallel AY ziehen. Durck Verlängerung von AE nach unten läßt sich auf der untern Abszisse LO der O-Punkt unseres Ordinatensystems fixieren, womit die Lösung der Aufgabe bedingt möglich wird.

Die Zahl der Aufgaben für die synthetische Konstruktion der weiblichen Beckenform ließe sich selbstverständlich ad libitum vermehren. Wir wollen uns indes, obgleich jede Lösung neue Gedanken bringt, mit diesen wenigen Beispielen begnügen.

Hält man die synthetischen Aufgaben für die beiden Geschlechtstypen der Beckenform und ihre Lösungen einander gegenüber, so geht daraus auf den ersten Blick hervor, daß sich die Synthese gleich wie die Analyse des männlichen Beckentypus viel einfacher gestaltet, als diejenige des weiblichen Typus. Der Grund ist leicht ersichtlich.

Die Grundzüge im Aufbau des menschlichen Beckenringes bleiben bei beiden Geschlechtern auch nach der geschlechtlichen Reife der Individuen dieselben. Das Naturgesetz der Pubospinalebene gilt für beide Geschlechter in gleicher Weise nach wie vor der Pubertätszeit. Und doch hat der weibliche Beckenring in dieser Zeit eine Umformierung und eine Ausweitung durch innere Kräfte erfahren.

Sind dabei besondere, neue Kräfte im Spiele? Keineswegs. Wenn auch die Ausweitung des weiblichen Beckenringes einer vermehrten Kraftäußerung gleichzusetzen und als Folge einer solchen anzusehen ist, so handelt es sich dabei doch nicht um das Hinzutreten eines neuen Kraftmomentes selber, wohl aber durch Einschalten des einarmigen Uterushebels, um eine Verstärkung der Kraftentfaltung des fallenden Tropfens im Innern der Bauch- und Beckenhöhle des menschlichen Weibes.

Es kommt der Frau also im Stadium ihrer Reife nachweisbar eine vollkommenere, weil leistungsfähigere maschinelle Einrichtung zu, als dies noch vor seiner geschlechtlichen Entwicklung beim Mädchen der Fall war und zeitlebens gegenüber dem männlichen Geschlechte zu konstatieren ist.

Man hat der morphologischen Differenzierung der weiblichen Geschlechtsorgane von der genetischen Seite aus alle Aufmerksamkeit geschenkt und ihr ganz besonders auch aus naheliegenden Gründen vom physiologisch-funktionellen Standpunkte aus volle Beachtung zuteil werden lassen. Statiker und Mechaniker aber haben ebenfalls allen Grund, auf diese geschlechtliche Differenzierung der Körperanlage aufmerksam zu sein. Zu beachten bleibt nicht etwa nur, daß der Einfluß der „Autosekretion" der Geschlechtsdrüsen auf die Gestaltung des Gesamthabitus, für das körperliche wie geistige Gepräge des Individuums bekanntlich und nachgewiesenermaßen durch chemische Umsetzung der Körpersubstanz den größten Einfluß ausübt — nein, wenigstens ebenso hoch als dieser chemische Faktor ist auch der mechanische in der Geschlechtsanlage zu bewerten, der die Beckenform und damit die Bildung und Statik der Gesamtkörperform bestimmend beeinflußt.

Wohl ist die geschlechtliche Differenzierung der Genitalorgane am menschlichen Embryo schon sehr frühe ausgesprochen. Sie scheint aber sehr lange ohne einen wesentlichen Einfluß auf die Formgestaltung des Beckenringes und des gesamten Körpers überhaupt zu sein. Alle beobachteten diesbezüglichen Formbildungen konnten in der Analyse als alleinige Folgen der Blasensenkung aufgefaßt werden.

Bei der männlichen Genitalanlage bleibt also die gesenkte Urinblase der alleinige Formbildner des Beckenendes nach vollzogenem Lendenknick. Ziemlich dieselben Verhältnisse treffen wir auch beim weiblichen Neugebornen; sie bleiben beim Mädchen auch noch in den ersten Jahren nach der Geburt bestehen.

Ebensowenig, wie seine physiologischen Funktionen als Zeugungsorgan, kommen nämlich beim unentwickelten Mädchen die mechanisch-physikalischen Funktionen des Uterus als Hebelarm oder elastische Feder in Frage. Ursprünglich ein relativ schwaches Gebilde, erscheint er erst noch als ein bedeutungsloses Anhängsel der Harnblase und erst mit der weiterschreitenden Senkung derselben erhält er eine gewisse Stärkung und Kräftigung und damit zugleich auch das maschinelle Vermögen der Kraftentfaltung in Verbindung mit der Blasenkugel. Es geschieht dies offenbar infolge der Spannung und Zerrung im Ansatzpunkt der runden Mutterbänder, ein Vorgang, wie ich ihn seinerzeit schon schematisch dargestellt habe (Vlkm. Sammlung klin. Vorträge, N. F., Nr. 210, Fig. 7—11 u. 14—18).

Wenn nun auch die allmähliche Entwicklung des Uterushebels selber nicht ein neues Kraftmoment für den weiblichen Beckentypus bedeutet, so liefert sie doch als neuer maschineller Bestandteil eine Vervollkommnung der maschinellen Anlage. Und eben hierin ist der Grund zu suchen, wenn die synthetische Konstruktion der weiblichen Beckenform auf erheblich größere Schwierigkeiten stößt, als diejenige des männlichen Beckentypus.

Das Auffinden und Erkennen gewisser maschineller Anlagen im Innern der Rumpfform aber führte unerwarteterweise zu ganz neuen Problemen über das Zustandekommen der Gesamtkörperform, zu Aufgaben, die nicht mehr der Analyse und Synthese der Beckenform selber zuzurechnen sind. Sie gehören vielmehr in das weitere Gebiet der Anthropogenese und müssen daher im zweiten Hauptabschnitt im Zusammenhange behandelt werden.

ZWEITER TEIL

EVOLUTION DER SUBSTANZ.

DER DYNAMO-STATISCHE FAKTOR IM GESTALTEN UND ERHALTEN DER FORM

A. Summarischer Rückblick über die gewonnenen Resultate der Analyse der Beckenform.

Von rein praktischen Gesichtspunkten aus die Beziehungen zwischen Beckenform und Beckeneingeweiden festzulegen, das war ursprünglich unser erstes und einziges Ziel gewesen.

Der Gedanke, von dem diese Studie ausging, daß Beckenboden und Beckenring zusammen den Stützapparat bilden für die weichen zum Teil beweglichen Bauch- und Beckenorgane, und zwar bei beiden Geschlechtern in gleicher aber unter sich modifizierter Weise, war mechanistisch genommen nicht von der Hand zu weisen. Aber schon bei der ersten Erwägung stellte es sich heraus, daß ja nicht nur diese Organe selber geschlechtlich verschiedene Anordnung besitzen, sondern daß auch die Form des knöchernen Beckenringes selber geschlechtlich differenziert sei. Man mußte sich somit fragen: Steht diese doppelte geschlechtliche Differenzierung in Ring und Innenorganen in einem gewissen kausalen Zusammenhang? —

Zur Lösung dieser Fragen benötigte man also zunächst einer genauern Analyse der Beckenform, und zwar einer Analyse, die nicht nur Rücksicht nahm auf die Form selber, sondern die zugleich auch ihre Beziehungen zum elastischen Beckenboden wie zu den Beckenorganen mit berücksichtigte, sowohl was Genese, wie Topographie der Form anbetrifft.

Von einer Kausalanalyse der Form aber konnte erst von dem Momente ab gesprochen werden, wo es gelang, den sichern Beweis zu erbringen, daß die stabilere Beckenform und die beweglicheren Eingeweide und vor allem ihr Inhalt wirklich in einem gewissen und bestimmten Kausalkonnex zueinander stehen.

Diese Kausalanalyse erforderte weit weniger ein großes Untersuchungsmaterial als vielmehr eine mathematisch verwendbare, d. h. exakt arbeitende Methodik, deren Resultate jederzeit kontrolliert und nachgeprüft werden können. Mittelwerte, aus einer größern oder kleinern Serie von Beckenmessungen gewonnen, sind hierzu unbrauchbar: sie bringen mehr die Schwankungen und individuellen Abweichungen von der Norm zum Ausdruck, als die Norm selber, d. h. die im Kausalkonnex gelegenen konstanten Relationen.

Ein Kausalzusammenhang zwischen den einzelnen ursächlichen Momenten kann aber sowohl in temporärer wie in räumlicher Beziehung stattfinden. Man hat also zur Ergründung derselben nicht nur das „räumliche Nebeneinandersein der Dinge und ihre wechselseitige Abhängigkeit" (GOETHE) ins Auge zu fassen, sondern diesem ursächlichen Zusammenhang auch in zeitlicher Aufeinanderfolge der Momente nachzuspüren: Dem Forschen nach der Mechanik und Statik in der Topographie und Morphologie hat die Festlegung der entwicklungsgeschichtlichen Mechanik vorauszugehen. Daß dabei rein praktische Gesichtspunkte zunächst in den Hintergrund gedrängt werden, liegt auf der Hand. Vom Praktiker einem bestimmten Zwecke spekulativ angepaßte Linien, Winkel, Achsen und Maße sind daher beiseite zu lassen, auch wenn sie schon längst konventionell gebräuchlich sein sollten.

Um die räumlichen Lagebeziehungen von Punkten, Linien und Flächen zueinander richtig würdigen und in anschaulicher Weise zur Darstellung bringen zu können, schien mir kein System geeigneter zu sein als dasjenige, dessen sich die theoretische und praktische

Technik schon seit langem mit Vorteil bedient: die darstellende Geometrie in Verbindung mit der Orthogonalprojektion und vertikalen Orientierung. Archiv für Anthropologie, Band XIII, 1, NF.

Indem wir das H. MEYERsche Naturgesetz der Pubospinalebene (s. Einleitung S. 5) als Grundlage für die Orientierung bei der Untersuchung der Beckenformen annahmen, bot uns das genannte System eine Menge von Vorteilen.

1. Ist in Folge der Vertikalorientierung unseres Ordinatensystems nach der senkrechten Pubospinalebene die Richtung der Schwergewichtslinie für jeden einzelnen Punkt in der Darstellung sofort gegeben;
2. Die Darstellung der Form läßt sich leicht nach allen Seiten des Raumes hin bewerkstelligen;
3. Schnittkonstruktionen können jederzeit in beliebiger Richtung der Form ausgeführt werden, ohne daß dabei die Form selber zerstört wird.
4. Die Übersicht der räumlichen Ausdehnung wird erleichtert, indem sich die Proportionen bei der Orthogonalprojektion stets gleich bleiben; optische Täuschungen über die Raumdimensionen und Proportionen der Teile fallen weg.
5. Der Hauptvorteil aber liegt in der Möglichkeit einer exakten trigonometrischen bzw. stereometrischen Berechnung der Form unter Mithilfe des rechtwinkligen Ordinatensystems, das wir an das Becken selber angelegt haben.

Warum wir gerade der genauen Erforschung der Beckengestaltung eine so hervorragende Bedeutung für die Beurteilung der ganzen menschlichen Körpergestalt beilegten, haben wir im ersten Teil ausführlich dargelegt. Unbeirrt von den bisherigen Anschauungen sind wir bestrebt gewesen, nur solche Beckenfixpunkte zu projizieren, die wir auch morphologisch wie funktionell näher definieren konnten.

Hatte schon die bloße Einreihung der Projektionspunkte in das senkrechte Ordinatensystem eine Menge bis dahin unbekannter Korrelationen zutage gefördert, so führten in überraschender Weise schon die ersten trigonometrischen Berechnungen von Winkeln, die sich aus der gegenseitigen Lage dieser Punkte zueinander oder zum Nullpunkt des Koordinatensystems ergaben, zur Entdeckung eines mathematischen Systems. Dieses schien die Lage der Punkte auf der ersten benutzten Projektionsebene der median gelegenen Symmetrieebene (I_1) der Beckenform völlig zu beherrschen. Dasselbe System wurde sodann auch auf den übrigen Projektionsebenen weiter konstatiert, was höchlichst überraschen mußte, und das sich in gleicher Weise, wenn auch in etwas modifizierter, aber dennoch verwandter Anordnung beim andersgeschlechtigen Beckentypus manifestierte.

Das gefundene mathematische System ist in Anordnung und Funktion geometrisch von der größten Einfachheit. Es ist die primärste Funktion des Kreises, jener denkbar einfachsten Flächenfigur in hexagonaler und tesseraler Winkelteilung. Damit konstruieren sich die regelmäßigen Figuren des ein- und umschriebenen Dreiecks, Vierecks und Sechsecks usw. ganz allein unter einziger Mithilfe des Radius. Was wir vom statischen Gesichtspunkte aus hierzu einzig noch benötigen, ist die Kenntnis der Richtung der Schwergewichtslinie des Kreiszentrums. Sie ist aber durch die Vertikalorientierung der Form selber schon gegeben.

Rein geometrisch genommen, sind nämlich alle Punkte einer Kreisperipherie unter sich gleichwertig. Damit ist gesagt, daß es gleichgültig ist, welchen Peripheriepunkt wir beispielsweise zum Ausgangspunkt des Drei- oder Sechseckes machen. Das liegt vollkommen in unserer Wahl und Willkür. Haben wir aber einmal einen bestimmten Punkt

dazu auserkoren, so ist auch schon die ganze Figur in Ausdehnung und Lage vollkommen bestimmt.

Weit leichter als dem Mathematiker fällt die Wahl dieses Ausgangspunktes dem Statiker, der alles nach der Richtung der Schwergewichtslinie beurteilt. Die Vertikale, die durch das Kreiszentrum geht, ist ihm von besonderem Wert. Er wird daher von ihr aus seine Figuren zu konstruieren beginnen (s. Synthese der männlichen und weiblichen Beckenform).

In der Ebene kommt er mit dieser einzigen Linie aus. Handelt es sich aber um die Konstruktion einer materiellen Kugel, so ist zugleich mit der Schwergewichtslinie noch eine bestimmte Richtungsebene (Symmetrieebene) zu bezeichnen, die ebenfalls durch die beiden Pole der Vertikalen wie durch den Kugelmittelpunkt geht; denn der Polachse gegenüber ist ohne diese Hemisphärentrennung jeder Äquatorpunkt immer noch gleichwertig.

Daraus erhellt ohne weiteres der Vorteil, den ein nach der Richtung der Schwerkraft orientiertes Ordinatennetz bieten muß.

Das erste Kreissystem, das sich uns schon auf der medianen Projektionsebene der männlichen Beckenform präsentierte, funktionierte tesseral. Das Kreiszentrum fällt dabei mit dem Projektionspunkt *P* der statischen Drehachse oder Balancierachse des Rumpfes zusammen. In den beiden Diagonalen des lotrecht orientierten eingeschriebenen Kreisviereckes erkennen wir zwei weitere ideelle Achsen von gleicher Länge, während eine dritte, die erwähnte Drehachse PP', in der Projektion zum Punkt verkürzt, ebenfalls senkrecht zu den beiden andern steht, ihre Länge ist auf dieser Projektionsebene also nicht zu ermitteln. Diese Drehachse hat nun aber männlicherseits ebenfalls die gleiche Länge wie die beiden andern. Es konnte dies jedoch erst auf den übrigen Projektionsebenen konstatiert werden, wo die Quermaße der Form zur Geltung kommen. Wie diese Drehachse seitlich zu begrenzen sei, geht aus der Erwägung hervor, daß ihre Endpunkte nicht am Beckenring selber, sondern an seinem beweglichen Stützapparat zu suchen sein werden. Das obere Femurende aber enthält einen kugelförmigen, also massig formierten Gelenkkopf, der in die Form des Beckenringes eingelassen ist. Als dynamischer Endpunkt der Drehachse ist daher beiderseits das Zentrum des Femurkopfes anzusehen. Die Entfernung dieser *P*- und *P*-Punkte voneinander ist genau so groß, wie die Diagonalen des Kreisviereckes oder wie der Durchmesser *R* des *P*-Kreises. Das männliche Becken weist also drei gleich lange, senkrecht aufeinander stehende statisch-genetische Achsen auf.

Noch wagen wir, ohne vorerst weitere Beweise zu haben, es nicht, die eine hiervon als Hauptlinie zu bezeichnen, da außer dem Drehpunkt *P* nur zwei unserer Projektionspunkte genauer bestimmte Beziehungen zum Kreise zu haben scheinen, indem sie in der Kreisperipherie selber liegen.

Sechs weitere Punkte aber liegen auf der Peripherie eines zweiten Kreises. Die Kontur dieses neuen Kreises läßt sich bei seitlicher Ansicht der männlichen Beckenform leicht verfolgen vom Tuberculum pubis über den Angulus pubis, die Beckenboden fascie und den Spinalgrat des Steiß- und Kreuzbeins bis zum untern Ende der Columna spinalis (*K*) der Wirbelsäule, das auf gleicher Höhe steht, wie die Spina anter. sup. ossis ilei (*G*).

Dieses zweite Kreissystem habe ich im Gegensatz zum „Formerhalter" den „Formbildner" genannt. Es ist eng mit dem ersten verknüpft, da es durch dieselben Projektionspunkte *G* und *K* geht, wie der erste Kreis (Tafel I).

Die horizontal liegende Viereckseite *GK* des *P*-Kreises wird zur Dreickseite des kleinern *M*-Kreises und damit treten die beiden Kreise in ein sehr intimes verwandtschaftliches Ver-

hältnis zueinander. Das Verhältnis der beiden Kreisradien R_p und R_m zueinander ist nach trigonometrischer Berechnung konstant. Es ist nämlich:

$$R_p : R_m = 1{,}2246 : 1$$

oder

$$\frac{R_p}{R_m} = \sqrt{2} \sin 60^\circ = \text{konstant} = K.$$

Dieses konstante Verhältnis bezeichnen wir mit φ.

Das Nähere über Winkelmessung, sowie alle weitern mathematischen Beweise sind im ersten Teil nachzusehen, ebenso auch die Andeutungen über die mathematische Evolution der beiden Kreise, nach welcher sich der gegenseitige Wert der Achsen genau abschätzen läßt.

Die Lage und Wertbestimmung der *Achsen* hat sodann an Hand genetischer Erwägungen und embryologischer Untersuchungen zur Konstruktion des Lendenknicks geführt. Ursachen, Bedeutung und Folgen dieser intrauterinen Mechanik müssen später nochmals im Zusammenhange gewürdigt werden. Nur soviel sei hier schon hervorgehoben, daß man jetzt imstande ist, die eigenartigen Wachstumverhältnisse mechanisch-technisch zu erklären, die man an der Wirbelsäule der menschlichen Frucht schon im zweiten und dritten Monat beobachtet. Sie beruhen auf dem Prinzip der Formbildung durch Kontaktwirkung bei ungleichen Widerständen, das sich bei der Entwicklung der Form, d. h. im intrauterinen Wachstum des Individuums immer und immer wieder geltend macht.

Aber so überraschend diese Entdeckung auch sein mochte — mit dem Auffinden eines mathematischen Systems in unserm Körperbau wäre für die Ergründung der Kausalität desselben noch so gut wie nichts gewonnen. Dazu denkt die Mathematik, wenn auch unvergleichlich scharf und logisch, doch viel zu abstrakt. Als Hilfswissenschaft aber hat sie uns treffliche Dienste geleistet, und es war unsere weitere Aufgabe, ihre Ergebnisse durch das reellere physikalische Experiment erklären und sicherstellen zu lassen.

Da eine jede Lebensäußerung im Grunde genommen eine Bewegung, jede Bewegung aber auf die Entfaltung und Einwirkung irgendeiner Kraft zurückzuführen ist, so durfte der Versuch wohl der Mühe wert erscheinen, gewisse Körperfunktionen, wie z. B. die Peristaltik, die man sich bis jetzt ohne Mitwirkung der Darmmuskulatur kaum hatte vorstellen wollen, auch ohne diese Beihilfe durch das einfache Experiment nachzuahmen.

Das Gelingen dieses Experimentes mußte sodann die bisherigen Anschauungen über das Wesen und das Zustandekommen der Körperform erschüttern. Es rief außerordentlich vereinfachende Vorstellungen in uns wach, sobald wir nur die alte „Ständertheorie" mit der neuen „Ballontheorie" vertauschten (s. Verhndl. der Schweiz. Naturf.-Ges. Schuls. 1916) und dabei die Grundidee H. MEYERs etwas veränderten, indem wir sagten: Jede Muskelanlage bedeutet die kinetisch gesteigerte Elastizität des Plasmas, jede Knochenanlage seine nach statischen Anforderungen angeordnete vermehrte Stabilität. Damit erweitern wir die Anschauungen H. MEYERs und CULMANNs über die Struktur der Knochenspongiosa auf die ganze Körperform.

Und mit dieser Grundanschauung ist nun auch das mathematische System wohl vereinbar, das in so überraschender Weise im menschlichen Körperbau zutage tritt. Ja, eine solche Anlage ist nach dieser Anschauung geradezu notwendig.

Im Bauprinzip unterscheidet sich der tierische Organismus von dem pflanzlichen wesentlich dadurch, daß der Letztere nur eine äußere, die Tierform aber eine innere und äußere Belastung bekommt.

B. Neue Anschauungen über Entstehung und Aufbau der tierischen Körperform.

Heute schon von einer Kausalität der Form zu reden, sowohl von den Grundursachen der Form im allgemeinen, wie auch im besondern von einer Kausalität der tierischen und menschlichen Körperform, mochte als ein kühnes Unterfangen erscheinen; denn von einem allgemeinen kausalen Verständnis der Form der Organismen und ihrer morphologischen Teile unter sich sind wir sicherlich noch weit entfernt; doch ist der Weg dazu gebahnt.

Nichts hatte uns ursprünglich ferner gelegen, als die Untersuchung der menschlichen Beckenform zum Ausgangspunkt anthropologischer oder allgemein naturphilosophischer Studien machen zu wollen. Allein das Herandrängen naturwissenschaftlicher Probleme aller Art spielte unsere Untersuchungen auf weitere Gebiete hinüber. Man mußte sich mit den physikalischen, wie chemischen Eigenschaften der tierischen Körpersubstanz selber befassen, wenn auch zunächst nur in übersichtlicher und knapp gehaltener Weise.

Die erste Frage, die an uns herantrat, war die: Wodurch unterscheidet sich die organische von der unorganischen Substanz? Und mit dieser Frage war auch das schwierigste aller Probleme, die Frage nach der Entstehung des Lebens angeschnitten. Dürfen wir hier an diesem viel diskutierten und doch ungelösten Welträtsel vorübergehen, ohne auch unsere Gedanken zu äußern? —

I. Gedanken über die Entstehung des Lebens in der leblosen Substanz.

Welche äußern Bedingungen vorhandensein und zusammentreffen mußten, bis auf unserm Planeten das Leben entstehen konnte, darüber möchte ich mich hier nicht auslassen. Dies berührt mein Thema nicht. Und überdies gibt die KANT-LA-PLACEsche Nebularhypothese hierfür eine allgemeine bekannte und befriedigende Erklärung ab.

Dagegen interessieren hier uns mehr die innern Bedingungen, die erfüllt sein mußten, bis sich allmählich das Leben aus der toten Masse entwickeln konnte.

Daß jede Lebensäußerung eine Bewegung darstellt, entweder eine Bewegung des Ganzen (Lokomotion) oder nur eine Teilbewegung (Form- und Stellungsveränderung), darauf ist im Ersten Teil (Seite 87 u. ff.) bereits hingewiesen worden, ebenso auch darauf, daß man die Ursache jeder Bewegung Kraft nennt.

Jede Kraft wird dem Organismus von außen zugeführt (Wärme, Zufuhr von Nahrung inkl. Atmungsluft usw.). Dabei ist wohl zu beachten, daß eine äußere Kraft, die auf den Organismus einwirkt und momentan zu einer Bewegung desselben führt, in diesem ebensowenig Leben erzeugt, wie der Stoß bei einer Billardkugel oder der Windstoß an einer Baumkrone. Diese Bewegungen sind passive, ob sie das Ganze oder nur einen Teil desselben betreffen.

Nach dem Gesetz der Erhaltung der Kraft von ROBERT MAYER aber ist die Summe der vorhandenen Kräfte stets die gleiche, wenn auch eine Kraft beliebig in eine andere

übergeführt werden kann. So kann eine Kraft für längere oder kürzere Zeit gefesselt bleiben als mechanische, elektrische oder thermische Spannkraft (potenzielle Energie).

Eine Kraft aber so zu fesseln, daß sie nicht sofort im Momente ihres Auftretens wieder frei wird, sondern erst später auf ein leichtes auslösendes Moment hin zur Entfaltung gelangt, dazu muß der Stoff in seiner chemischen und maschinell-konstruktionellen Zusammensetzung eigens geartet sein. Nur diese primitivsten maschinellen Anlagen etwas zu verfolgen, liegt in unserer Aufgabe.

J. ROBERT MAYER drückt die Aufgabe, welche den Wissenschaften der Physik und der Chemie gestellt ist, mit folgenden Worten aus:

„Sowohl die Wissenschaft, welche sich mit der Art des Seins der Stoffe *(Chemie)*, als die, welche sich mit der Art des Seins der Kräfte *(Physik)* beschäftigt, haben die Quantität ihrer Objekte als das Unveränderliche und nur die Qualität derselben als das Veränderliche zu betrachten."

Wir haben es hier in Kürze mit Beiden, mit der Art des Seins der Stoffe, noch mehr aber mit der Art des Seins der Kräfte zu tun.

1. Allgemeines über Stoff und Form einfacher und zusammengesetzter Körper.

Vergleicht man allgemein Stoffe miteinander, so ergeben sich daraus folgende Tatsachen: *Alle Körper,* sowohl einfache wie zusammengesetzte sind charakterisiert

1. durch ihre Form, falls sie kristallisieren;
2. durch die physikalischen Konstanten, welche sind: Schmelzpunkt, Siedepunkt, kritische Temperatur, kritischer Druck usw.
3. durch das Atom-Gewicht bzw. Molekulargewicht der sie zusammensetzenden Bestandteile.

Was den Siedepunkt anbetrifft, so gilt in der Regel, daß ein Gemisch von zwei oder mehreren Komponenten tiefer siedet als das arithmetische Mittel aus den einfachen Stoffen.

Daraus ergibt sich, daß bei einem kompliziert zusammengesetzten Körper (s. Eiweißstoffe) der Siedepunkt sich mehr und mehr dem Schmelzpunkt nähert. Es wird daher auch erklärlich, daß leichtere Temperaturschwankungen bei diesen einen größeren Einfluß auf ihr physikalisch-chemisches Verhalten haben müssen und zwar um so mehr, je komplizierter die Zusammensetzung ist.

Bei diesen Erörterungen haben wir bis jetzt keinen Unterschied gemacht zwischen „anorganischer" und „organischer" Substanz. Obschon in der organischen Chemie die Annahme einer Lebenskraft, die den prinzipiellen Gegensatz der organischen zur anorganischen Substanz erklären sollte, endgültig gefallen ist, so hat man doch aus rein praktischen Gründen die Trennung beibehalten und nennt „Organische Chemie" die Chemie der C-Verbindungen. Ein prinzipieller Unterschied zwischen den beiden Substanzen existiert nach dem heutigen Stand der Wissenschaft also überhaupt nicht: Alle Unterschiede sind nur als graduelle aufzufassen.

Die ungeheure Zahl der organischen Verbindungen ist die Folge

1. der Vielwertigkeit (Vier-Wertigkeit),
2. der chemischen Indifferenz sowie
3. der Tendenz zur Ketten und Reihenbildung

} des C-Atoms.

Zudem kommt ihm, wie den übrigen hauptsächlichsten Elementen der organischen Substanz, dem H, O und N

4. ein niedriges Atomgewicht zu.

Da sich das C-Atom im periodischen System in der Mitte befindet zwischen positiven und negativen Elementen, so kann dasselbe bald negativ, bald positiv reagieren, d. h. es eignet sich vorzüglich sowohl für Reduktions- wie Oxydationsvorgänge.

Zu den kompliziertesten C-Verbindungen gehören ohne Zweifel die Eiweißstoffe. Sie bilden die Grundsubstanz des pflanzlichen wie des tierischen Organismus, des Protoplasmas. Sie enthalten als Polypeptide Stickstoff und sind derart hoch polymerisiert, daß das Polymerisationsprodukt, sowie ihre Struktur bis jetzt nicht bekannt sind, wohl aber die Spaltungsstücke (Peptide). Die untere Grenze des Molekulargewichtes schätzt man auf 14000. —

Zwei physikalische Eigenschaften sind es vorzugsweise, welche diese hochpotenzierten Eiweißkörper charakterisieren: der zähflüssige und der kolloidale Zustand.

Im zähflüssigen Zustand kann die Substanz der „Außenwelt" gegenüber sowohl als relativ fest, wie als relativ flüssig auftreten. Zudem kann die Adhäsionskraft so groß werden, daß sie die Kohäsionskraft überwiegt. Darauf haben RHUMBLER und LÖB ihre Theorien über den Freßakt der Amöben aufgebaut.

Durch die neuen Forschungen auf dem Gebiete der Kolloide muß man sich immer mehr und mehr von der Vermutung GRAHAMs, des ersten Forschers auf diesem Gebiete, entfernen, wonach ein scharfer prinzipieller Unterschied besteht zwischen der „kolloidalen Lösung" und der „Lösung" im engern Sinne des Wortes. NERNST äußert sich darüber wie folgt:

„Wenn die kolloidalen Lösungen auch gleichsam einen Übergang bilden von einer wirklichen Lösung zu einer Emulsion, und daher die Oberflächenspannung zwischen gelöster Substanz und Lösungsmittel für viele Erscheinungen eine erhebliche Rolle spielt, so stehen sie den wirklichen Lösungen zweifellos viel näher als eine grobmechanische Suspension."

Das Verhalten der kolloidalen Substanz erklärt sich durch die sehr hohe Molekulargröße. Sie ist es vermutlich, welche die Körper nicht leicht veranlaßt in einen kristallisierten Zustand überzugehen, sicher aber ihr verschiedenes Verhalten (mit den eigentlichen Lösungen) erklärt. So ist die Diffusionsgeschwindigkeit außerordentlich gering und der osmotische Druck zufolge des innern Reibungswiderstandes klein.

Wenn auch heute noch ein klarer Überblick in diesem wichtigen Gebiete der biologischen Chemie fehlt, so geht doch aus allen neueren Forschungen hervor, daß sich auch die kolloidalen Substanzen den schon gefundenen physikalischen Gesetzen unterordnen.

Die kolloidale Form ist charakteristisch durch ihre Neigung sowohl in echte Lösung, wie in Gelzustand überzugehen. Zudem bieten ihre Teilchen eindringenden Agentien gegenüber größere reagierende Grenzflächen dar, als dies bei der Emulsion oder Suspension der Fall ist: Damit sind zugleich auch in den Zwischenräumen andere Bedingungen für die Fortbewegung dieser Agentien gegeben. Ich verweise hier auch auf die interessanten Versuche HANNOVERs über Legierungsprozesse und Herstellung von porösen Bleiplatten, wobei das mechanische Moment für die differierende Bewegung der Moleküle oder kleinsten Partikelchen sichtlich allein in Frage kommt.

Auf Grund der Nebularhypothese müssen wir annehmen, daß die Temperatur- und Druckverhältnisse einst nicht nur ganz andere als heute gewesen sind, sondern daß sie wenigstens zeitweilig auch viel günstiger für die Synthese anorganischer und organischer Substanzen gewesen sein müssen. Vermutlich werden auch die elektrochemischen Verhältnisse hierfür günstiger gewesen sein als heute. Sicher aber ist, daß schon die genannten komplizierten chemischen Verbindungen nur das Resultat sehr langer Zeit gewesen sein können.

Aus einer langdauernden Evolutionszeit resultieren vorerst chemische Verbindungen, die an und für sich homogen sind. Dadurch aber, daß verschiedene chemische Verbindungen (mit verschiedenen physikalischen Eigenschaften) nebeneinander auftreten und sich gegenseitig mischen, erhalten wir eine heterogene Zusammensetzung (chemische Kombinationen). Und indem anderseits bei ein und derselben Temperatur und gleichem Druck wieder Substanzen von verschiedenen Aggregatzuständen nebeneinander auftreten, so kommen das Massenwirkungsgesetz und die Phasenregel nebeinander zur Geltung.

Dies schließt gewisse Willkürlichkeiten von vornherein aus und bringt die Komponenten in viel engere Beziehungen zueinander.

Es liegt nicht in meiner Aufgabe, mich über das Massenwirkungsgesetz und die GIBBsche Phasenregel weiter auszulassen. Ich hoffe aber, daß man sich gleichwohl vorstellen kann, daß ein Teil der von außen einwirkenden Energien unter diesen komplizierten Verhältnissen auf die Stoffe so einwirken kann, daß sie nicht notwendigerweise in gleicher oder geschwächter Form sofort nach außen hin wieder abgegeben werden. Weil aber nach dem Prinzip von der Erhaltung der Kraft niemals etwas von derselben verloren geht, so muß sie nach dem Austauschprozeß notwendigerweise zum Teil oder in toto in der Substanz selber aufgespeichert sein.

Früher schon erwähnten wir, daß gerade bei den lebenden Substanzen eine solche Umwandlung von innerer Energie stattfindet. Dadurch aber, daß die „lebende" Substanz sehr kompliziert ist, so reagiert sie sehr leicht auch auf äußere Einflüsse infolge der Labilität ihrer Bestandteile. Für den Beobachter hat es so den Anschein, als ob die Substanz von sich aus reagiert hätte, in Wirklichkeit ist es die Auslösung einer aufgespeichert gewesenen Spannkraft auf leichte „äußere" Einwirkung (Reiz) hin.

Es muß schon nach dem Gesagten der Begriff „Leben" weiter gefaßt werden, schon deshalb, weil auch bei weniger komplizierten Verbindungen eine innere Umwandlung der Energie und zeitweilige Aufspeicherung derselben stattgefunden hat und noch stattfindet. Vermutlich hat man schon die Kristallisierung einer anorganischen Substanz als eine Art innerer Energieaufspeicherung aufzufassen.

Aber mag man den Grundbegriff „Leben" definieren wie man will, eines scheint mir wenigstens aus dem bisher Erörterten sicher hervorzugehen:

Die chemische Evolution des Stoffes bis zu dessen vollkommenster Strukturentfaltung hat sich von sich aus vollzogen unter Einwirkung verschiedenartiger äußerer Kräfte und Einflüsse und im teilweisen Austausch mit denselben. (Siehe unten unter B. IV. Das Bauprinzip in den drei Naturreichen.)

Und dabei haben wir bis anhin noch keinen Unterschied gemacht zwischen der sogenannten anorganischen und der organischen Substanz. Beide Materien, C-haltige und C-freie Substanz, können in ihrem Aufbau so geartet sein, daß sie Energie aufspeichern können, wenn auch in verschiedenem Grade. Wir fassen hier nochmals die verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften zusammen, welche die C-haltige Substanz und ihre Zusammensetzungen in höherem Maße befähigen, zum Substrat des Lebens, zur lebendigen Substanz zu werden. Es sind vor allem:

1. Die Vierwertigkeit des C-Atoms;
2. seine Stellung im periodischen System;
3. seine Geneigtheit zum Ring- und Kettengefüge und die daraus resultierende
4. komplizierte Struktur des Moleküls;
5. große Labilität des Moleküls;
6. hohes Molekulargewicht des Moleküls;

7. hohe Polymerisierung des Moleküls;
8. hoher Kalorienwert des Moleküls.

Dazu kommt außerdem die ausgesprochene Inhomogenität der organischen Substanz, sowie die Neigung, im kolloidalen und zähflüssigen Zustande aufzutreten, wodurch eine physikalische Doppelstellung zwischen „Fest" und „Flüssig" einerseits, und zwischen Lösung und Suspension (Dissolution und Gravität) anderseits gegeben erscheint.

Hier schon eine genauere Definition des Begriffes „Leben" zu geben, halte ich nicht für angezeigt. Nur eines wollen wir an dieser Stelle nochmals hervorheben:

An dem kompliziert strukturierten, hochpotenzierten Substrat erscheint jede Lebensäußerung als einfache Entladung, das Leben selber als eine zusammenhängende, längere oder kürzere Kette solcher Entladungen von aufgespeicherter Energie, ausgelöst durch äußere oder innere dynamische Momente. Über den Begriff „Leben" siehe unten unter B. II. 2.

Danach könnte leicht der Gedanke aufkommen, es würde die natürliche Heranbildung (Evolution) der organischen Substanz ein rein chemisches Problem darstellen, während umgekehrt der Anstoß zur Entstehung des Lebens in derselben auf rein mechanische Faktoren zurückgeführt werden müßte.

Diese Auffassung wäre indes nicht ganz gerechtfertigt. Sie läßt nämlich den wichtigen Erfahrungssatz unberücksichtigt, daß die Entfaltung jeder Kraft an das Vorhandensein einer maschinellen Einrichtung gebunden erscheint. Auch darf dabei weiter nicht außer acht gelassen werden, daß auch chemische Vorgänge sich nur unter bestimmten physikalischen Vorbedingungen (Druck, Wärme) vollziehen, und daß selbst der „Aggregatzustand" des Stoffes, also die „Form" schlechthin, davon abhängt.

Bevor wir also die Entstehung des Lebens selber begreifen können, haben wir die maschinellen Einrichtungen in seinem Substrate noch etwas näher zu verfolgen.

Das führt uns zur Molekularphysik des Protoplasmas, der Ursubstanz des pflanzlichen und tierischen Organismus zurück.

Als einfaches, membranloses Eiweißklümpchen repräsentiert es bei der einzelligen Amöbe den ganzen Organismus. Wie sollten da zur Entfaltung des Lebens bereits maschinelle Anlagen vorhanden sein?! —

Doch zuvor zur Orientierung noch eine gedrängte Übersicht über die große Zahl der Eiweißkörper selbst! — Es interessiert uns besonders hierbei ihre verschiedenartige Löslichkeit in Wasser, ihr Verhalten zu andern Lösungen.

Die echten Eiweißkörper kommen bekanntlich in freiem und gebundenem Zustand vor.

A. Die freien Eiweißkörper (Proteïde) gliedern sich je nach dem Verhalten ihrer Löslichkeit in

1. Albumine. Sie sind in reinem Wasser ohne weiteres löslich (Eialbumin, Serumalbumin, Muskelalbumin, Pflanzenalbumin).
2. Globuline sind nur in Wasser löslich, wenn dasselbe neutrale Salze, aber nicht bis zur Sättigung, enthält. Bei der Sättigung fällt das Globulin in Flocken aus (Serumglobulin, Fibrinogen, Myosin und Kleber).
3. Vitelline sind ebenfalls nur in neutralen Salzlösungen löslich, werden aber durch Sättigen der Lösung nicht gefällt.

B. Gebundene Eiweißkörper (Proteïne) sind als schwache Säuren an andere Stoffe chemisch gebunden. Durch Zusatz stärkerer Säuren wird das Eiweißmolekül aus seinen Verbindungen verdrängt.

1. Hämoglobin (Verbindung des Eiweißmoleküls mit Eisen).
2. Nukleïne (Verbindung des Eiweißmoleküls mit Nukleïnsäure, Phosphorsäure und Nukleïnblasen: Guanin, Adenin, Xanthin, Hypoxanthin). Diese Nukleïnblasen sind Endprodukte der Zersetzung der Eiweißsubstanz).
3. Nukleïne in Verbindung mit einem zweiten Eiweißmolekül (Nukleoalbumine, Kaseïn an Kalk gebunden).
4. Eiweißmoleküle in Verbindung mit Kohlenhydrat (Glykoproteïde, Mucin, Chitin usw.).

C. Als „Albuminoide" bezeichnet man eine Menge noch wenig bekannter Körper, die vorzugsweise „Skelettsubstanzen" wirbelloser Tiere sind (Elastin, Spongin, Konchiolin, Korneïn usw.).

D. Fermente oder Enzyme (Pepsin) sind hochkomplizierte stickstoffhaltige Derivate der Eiweißkörper.

Außer diesen kompliziert gebauten stickstoffhaltigen Eiweißkörpern kommen in der lebenden organischen Substanz noch stickstofffreie Verbindungen vor als

E. Kohlenhydrate, F. Fette und G. anorganische Salze und Gase.

Im Kolloidzustand kommen besonders vor:

1. die Eiweißkörper,
2. fettähnliche Stoffe (Lipoide), Lezithin, Cholestearin,
3. die Fermente und die spezifisch kolloiden Antikörper.

Schon aus dieser klassifizierenden Zusammenstellung geht zur Genüge hervor, wie sehr die Eiweißkörper in ihrer Haltbarkeit von der „Außenwelt" abhängig sind, indem sie unter Umständen durch die Einwirkung dieser letztern nur zu leicht chemisch zersetzt oder „gefällt" werden.

2. Das Protoplasma und seine Bestandteile als Träger des „Lebens".

Gehen wir zur Betrachtung der zusammengesetzten Eiweißsubstanz über, wie sie der einfache lebende Organismus darstellt, so sind es drei wesentliche Bestandteile, welche keinem einzelligen Organismus, wie auch ursprünglich keiner Zelle des zusammengesetzten pflanzlichen und tierischen Körpers fehlen: der Kern (Nucleus n), die plasmatische Substanz (p) und der flüssige Zellinhalt, das Serum (s). Bei den nackten Protozoen (Rhizopoden, Amöben, Leukozyten) bilden diese drei Bestandteile zusammen die ganze lebende Leibessubstanz P. Wir können also schreiben:

$$P = n + p + s.$$

Das prozentuale Verhältnis der Zusammensetzung von P drücken wir dadurch aus, daß wir die Verhältniszahlen auf einer Abszisse auftragen, z. B.

Figur 109.

Durch zahlreiche Untersuchungen ist auf mikrochemischem Wege der Nachweis erbracht, daß von den oben erwähnten Eiweißverbindungen die phosphorhaltigen Nukleïne fast ausschließlich der Kernsubstauz (n) angehören, während die zähflüssige plasmatische Substanz (p) fast ebenso ausschließlich die einfachen Eiweißkörper und phosphorfreien Eiweißverbindungen enthält. Die gelösten Eiweißsubstanzen, wie die Salze, können nur in der flüssigen Zellsubstanz im Serum (s) enthalten sein. Das Wasser, das so als Lösungsmittel und Träger löslicher Substanzen bei allen Lebewesen über 50 % des gesamten Körpergewichtes ausmacht,

kann bei einzelnen Tierarten bis zu 98 % steigen. Für ein und dieselbe Art aber scheint der Wassergehalt des Organismus, abgesehen von relativ kleinen individuellen physiologischen und pathologischen Schwankungen ziemlich konstant zu sein.

Der Umstand ferner, daß verschiedene Gruppen der oben angeführten freien Eiweißkörper nur bei gleichzeitigem Gehalt des Wassers an Salzen in diesem Lösungsmittel gelöst erscheinen, läßt erkennen, daß zwar dadurch gewisse Willkürlichkeiten der Lösbarkeit ausgeschlossen werden, daß aber immerhin die Lösungsmöglichkeiten sehr mannigfaltige sein können, schon angesichts der großen Labilität der hochkonstituierten Eiweißkörper.

So wünschenswert es heute auch dem biologischen Chemiker erscheinen mag, die genauere Struktur dieser hochwertigen stickstoffhaltigen Kohlenstoffverbindungen zu kennen, — wir für unsere Zwecke können noch dieser Strukturformeln entbehren, indem wir hier nur die drei Komponenten des protoplasmatischen Gemisches als solche auf ihr mechanisch-physikalisches Verhalten hin zu prüfen haben. Unerläßlich aber scheint mir zu sein, daß wir dabei auch den flüssigen Zellinhalt *(s)* als besondern Zellbestandteil würdigen. Bildet er schon bei jedem Organismus mehr als die Hälfte des Körpergewichtes, so ist noch ganz besonders darauf hinzuweisen, daß er auch im einfachen Zellorganismus das Lösungsmittel darstellt, in welchem alle andern Stoffe „mehr oder weniger gelöst“ erscheinen. Gerade in diesem „Mehr oder weniger Gelöstsein“ der Körpersubstanz aber scheint mir das Kriterium mancher Lebenserscheinung zu liegen.

Darauf beruhen vor allem auch bestimmte Erscheinungen des Barotropismus im engern Sinne des Wortes (Geotropismus). Die bewegungsrichtende Wirkung der Schwerkraft auf Funktion und Formengestaltung muß nämlich ebenfalls in ihre elementarsten Momente zerlegt werden, gleich wie dies bei den verschiedenen andern Reizqualitäten in bezug auf das Protoplasma mit so großem Erfolg und in so überzeugender Weise geschehen ist (s. VERWORN, V. Kapitel). Die Anregung zu diesen Gedanken gab uns die im ersten Teil unserer Arbeit niedergelegte Kausalanalyse der menschlichen Beckenform, das Auffinden eines in der Form niedergelegten Systems, das sich auf physikalisch-mechanische Gesetze der Schwerkraft stützt.

Aber diese Schwerkraft ist keineswegs die einzige Energieform, die auf das Protoplasma einwirkt. VERWORN unterscheidet im ganzen deren acht verschiedene Arten:

1. Molekuläre Energie (Kohäsion, Adhäsion, Anziehung der Moleküle).
2. Chemische Energie (Affinität, Anziehung des Atoms).
3. Mechanische Energie (Zug, Druck, Stoß).
4. Gravitätsenergie (Schwerkraft, Massenanziehung).
5. Thermische Energie (Wärme).
6. Photische Energie (Licht).
7. Elektrische Energie (Elektrizität, Galvanismus).
8. Magnetische Energie (Magnetismus).

Und der Vollständigkeit halber möchte ich hier auch noch als neunte spezifische Energieform gesondert (unter 7.) einreihen:

9. (7) Die akustische Energieform (Schall).

Auch wir halten mit VERWORN und den meisten Lehrbüchern der Physik vorläufig noch an diesen verschiedenen Energieformen fest, von denen einige hiervon noch in zwei verschiedenen Modifikationen auftreten können, nämlich als:

a) aktuelle Energie (kinetische Energie oder lebendige Kraft);
b) potentielle Energie (Spannkraft).

Doch kehren wir zum Protoplasma selber zurück, zu jenem Gemisch höchst potenzierter und kompliziertest gebauter Eiweißverbindungen, das nur bei den „Organismen" zu finden ist.

Wir haben daran schon die drei nicht nur chemisch, sondern auch in ihrem physikalischen Verhalten grundverschiedenen Substanzen unterschieden. Insbesondere mit Rücksicht auf das Plastizitätsvermögen verhalten sie sich ganz verschieden, indem dem wässerigen Serum so gut wie gar keine, dem Plasma dagegen eine sehr große plastische Bildungsfähigkeit zukommt. Dieses verschiedene Verhalten der beiden Grundsubstanzen des organischen Körperbaues macht sich besonders bei Einwirkung von molekulärer, mechanischer und Gravitätsenergie geltend.

Auf thermische, photische, magnetische und namentlich elektrische Energie scheinen die Moleküle der Nukleussubstanz ganz besonders empfindlich und reaktionsfähig zu sein. Die letztgenannten Energieformen werden daher diese Substanz viel geneigter zur Aufnahme finden als die Moleküle vom Plasma (*p*) und von Serum (*S*), und wenn zudem die Beweglichkeit aller Partikelchen im Protoplasma ebenfalls eine höchst verschiedene ist, ist es dann verwunderlich, wenn sich auf Zufuhr der verschiedenen Energieformen von außen her gleichartig reagierende Partikelchen zusammenfinden? —

So wären von den neun Energieformen acht bereits auf die beiden Hauptgruppen *n* und *p* verteilt und es bleibt als Rest nur noch die chemische Energie — in ihrer Bedeutung für den Lebensprozeß aber keineswegs die geringste — übrig. Lassen wir sie dem quantitativ hervorragendsten Bestandteil des Protoplasmas, dem Serum (*s*)! Denn sie bevorzugt das wässerige Element, das sie zu Lösungen der Substanzen und zur Auslösung der Reaktionen notwendig braucht. Beispielsweise geben Acidum tartaricum und Natron bicarbonatum zusammengebracht ohne Wasser niemals die bekannte chemische Reaktion des Brausepulverexperimentes. —

So hätten wir den drei Bestandteilen des Protoplasmas — den drei physikalisch-chemisch differenzierten Gruppen *n*, *p* und *s* — auch drei Gruppen von Energieformen gegenübergestellt und jeder Protoplasmagruppe eine spezielle Energiegruppe zugedacht. Selbstverständlich sind auch die beiden andern Protoplasmabestandteile nicht völlig unempfindlich für die andern, ihrer spezifischen Reaktionsfähigkeit entfernter stehenden Energien. Insbesondere scheint mir die plastische Substanz der *P*-Gruppe immer noch kräftig auch auf die elektrische Energie und ihre Verwandten zu reagieren.

Versuchen wir die drei Gruppen von Materie und Energie in ihrer spezifischen Aufnahmefähigkeit sinnfällig zu ordnen.

Energieform	Haupteigenschaft der Materie	Aktion, Reaktion und Resultat *a) aktuell*	*b) potentiell*
1. chemisch	I. *s*, flüssig	Solution und Dissolution	Wärmebildung, Stärke- und Fettbildung
2. molekulär 3. mechanisch 4. gravitätisch	II. *p*, plastisch	Molekuläre Bewegung. Zentripetale und zentrifugale Verdichtung (Bindegewebe- und Stromabildung)	Muskelanlage (mechanisch). Knochenanlage (statisch)
5. thermisch 6. photisch 7. akustisch 8. elektrisch 9. magnetisch	III. *n*, reizleitend	Spezifischer Ausbau der Reizherde (Sinnesorgane und Zentralnervensystem).	Bahnleitung, Verbindung zweier Reizherde (Nervenanlagen, Zentralorgan)

Alle diese Energieformen sind in ihrer Aktionsfähigkeit an eine bestimmte Materie, d. h. an ihre Atome und Moleküle gebunden. Die Gesamtsumme der vorhandenen Energie im Weltall ist dieselbe, doch kann eine Energieform in die andere übergeführt werden. Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft (ROBERT MAYER und HELMHOLTZ) aber entsteht nirgends in der Welt Energie oder verschwindet solche, ohne daß sie in dieser oder in einer andern Form bereits vorhanden gewesen wäre. Es ist dies namentlich da wohl zu beachten, wo sie in der latenten Modifikation als Spannkraft in der Materie aufgestapelt erscheint, also nicht erst in irgend einer Form der Materie zugefügt werden muß.

Was wir oben von irgend einer Energie oder Kraft wahrnehmen, ist nicht die Kraft selber, sondern stets als Äußerung derselben eine Bewegung der Materie in irgend einer Form, sei es eine Bewegung des Ganzen oder seiner Moleküle oder Atome, welche durch diese Kraft verursacht worden ist.

Der Wechsel der Form der Materie ist somit stets als Folge einer Energie-einwirkung zu betrachten. Dieser Satz ist festzuhalten! — L.S.60.*)

Diese Energie kann aber entweder in irgend einer Form von außen her dem Organismus direkt zugeführt oder auch durch Umsetzung in demselben produziert werden (Stoffwechselvorgänge, Spannungen, Formveränderungen).

Das plötzliche Freiwerden irgend einer im Organismus aufgespeicherten potentiellen Energie durch ein auslösendes Moment („Reiz“) hat man lange Zeit als das Auftreten irgend einer besondern „Kraft“ bezeichnet. Daß auch dem Eingeweideinhalt der Lunge und des Darmes, den „Kontenta“, im Körper stets noch eine ansehnliche Menge von potentieller Lage- und Spannungsenergie zukommt, die bei der Formbildung des Körpers wesentlich in Betracht fällt, hat man meines Erachtens bis jetzt stets zu wenig berücksichtigt.

Bis anhin haben wir vom Protoplasma nur als von einer heterogenen, hochkonstituierten, hochpotenzierten, im Grunde aber leblosen Substanz gesprochen, als von einem Gemisch einer großen Menge von Eiweißsubstanzen, deren einzelne Bestandteile naturgemäß auf die äußere Einwirkung der verschiedenen Energieformen verschiedenartig und auch verschiedengradig reagieren.

Jeder lebende Organismus, gleichgültig ob er einzellig oder vielzellig sei, besteht ursprünglich aus einem einzigen Protoplasmaklümpchen. Er stellt somit einen kleinern oder größern Protoplasmaklumpen dar, dessen einzelne Teile jedoch mit der Zeit vielleicht umgewandelt erscheinen mögen.

Was den „lebenden Organismus“ vom „toten“ unterscheidet, das sind gewisse Erscheinungen, die wir an ihm wahrzunehmen pflegen, nämlich jene Lebensäußerungen, welche wir bereits im wesentlichen als Stoffwechsel- und Formwechselerscheinungen bezeichnet haben. Aber diese Erscheinungen sind nicht beständig im gleichen Maße und vor allem nicht unter allen äußern Verumständungen wahrzunehmen. Sie sind an gewisse äußere Bedingungen geknüpft, die für die Lebensfähigkeit jedes Artprotoplasmas begrenzt sind. Nur unter diesen bestimmten Voraussetzungen ist der Organismus lebensfähig, d. h. imstande, jene Wechselerscheinungen zu zeigen, die wir an seiner Art wahrzunehmen gewohnt sind. Wird ein Organismus in diese für ihn günstigen Verhältnisse gebracht, und tritt an ihm trotzdem innerhalb einer gewissen Frist keine Lebensäußerung zutage, so bezeichnen wir ihn als tot. Es treten dann aber sofort andere Erscheinungen auf, die auf seinen Zerfall hinweisen.

*) Die Numerierung der Lehrsätze ist die Fortsetzung der Beweissätze B.S. im Ersten Teil.

Freilich hält es oft schwer, die untere und obere Grenze der Lebensfähigkeit eines organischen Individuums zu bezeichnen und ebenso schwer ist es bekanntlich zuweilen zu sagen, ob ein Organismus, der eben noch Lebenszeichen geäußert hat, im Moment der Untersuchung noch lebt, indem einzelne Körperteile ihre gewohnten Funktionen vielleicht noch in ungeschmälerter Weise fortsetzen, während andere Lebenszeichen bereits nicht mehr vorhanden sind.

Als *Tod* des Organismus bezeichnet man das Erlöschen der charakteristischen Lebensfunktionen der Art. Sein Auftreten ist, wie eben gesagt, kein plötzliches und alle Körperteile zu gleicher Zeit betreffendes Ereignis; meist sterben diese je nach ihrer Widerstandsfähigkeit gegen die Todesursache schneller oder langsamer ab.

Als solche Ursachen sind zu bezeichnen:

a) Noxen (mechanische, chemische, thermische, elektrische usw.) d. h. quantitativ oder qualitativ zu hoch dosierte Reize, welche die Struktur der organischen Substanz totaliter oder partiell schädigen oder aufheben (Trauma, Caissonkrankheit, Erfrieren).

b) Allgemeines Nachlassen der Reaktionsfähigkeit gegen aktuelle und potentielle Energie infolge Verminderung der Gesamtvalenz der drei Protoplasma-Gruppen (Erschöpfungstod).

Doch sehen wir uns die Reaktionsfähigkeit der drei *P*-Gruppen gegen die Energieformen nochmals etwas näher an.

Mit dem Physiker hat man dabei zwei verschiedene Modifikationen zu unterscheiden.

a) Die aktuell momentan auswechselnde Energie,

b) Die potentielle, zu späterer Verwendung aufgespeicherte Energie.

3. Der einzellige lebende Organismus.

Im einzelligen Organismus ist die Reaktion auf äußere Einwirkung einer jeden beliebigen Energieform nur eine rein unmittelbare und direkte. Zu einer Aufstapelung von potentieller Energie kann es schon aus dem einfachen Grunde nicht kommen, weil der einzellige protoplasmatische Leib der nötigen Einrichtungen und Anlagen zu einer solchen Aufspeicherung entbehrt.

Der einzellige Organismus kennt daher im großen und ganzen nur die unmittelbare, aktuelle Reaktion seiner Körpermaterie (siehe Seite 226); denn im kolloiden Gemisch sind nur möglich:

I. an chemischen Prozessen:
Lösungen und chemische Umsetzungen nebst Wärmebildung,

II. an mechanischen Prozessen:
Molekularbewegungen, Oberflächenspannung, Dehnung und Retraktion, Herstellung des statischen Gleichgewichtes.

III. Reizprozessen:
Fortleitung eines jeden beliebigen äußern Reizes durch die Körpersubstanz von der Peripherie zum Kernzentrum (Nucleus) hin und zurück zur Peripherie.

Das sind so ziemlich auch alle „Lebensäußerungen", deren der lebende einzellige Organismus fähig ist. Es sind momentane Auslösungen von Reaktionen, welche äußere Kräfte und Reize an der relativ bereits hochkonstituierten einzelligen Leibessubstanz hervorzurufen vermögen.

Einzellige Organismen können entweder nackt oder bedeckt sein, je nachdem die molekuläre Verdichtung der plasmatischen Substanz zentripetal oder zentrifugal erfolgt. So wird der mechanische Halt entweder zentralwärts oder aber an die Peripherie verlegt, und aus diesen beiden diametral auseinandergehenden mechanischen Systemen entwickeln sich in der weiteren Anlage die beiden Grundformen *Ektoskleren* und *Endoskleren*, die als die beiden Stammhalter für jedes animale Wesen zu gelten haben (siehe Kapitel V, Der Stammbaum der mechanischen Korrelation). Für die Entscheidung, ob das Plasma einer Art zentripetal oder zentrifugal reagiere, ist aber nicht nur seine eigene ererbte chemische Zusammensetzung maßgebend; in ebenso hohem Grade hängt dies von der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des äußern Mediums ab, in dem der Organismus lebt, und von den Reizen, die dieses äußere Medium auf die protoplasmatische Substanz des Organismus auszuüben vermag.

Ist der einzellige Organismus bedeckt, so kann sich der Austausch mit der Außenwelt entweder durch Osmose vollziehen (Pflanzentypus). Oder aber (Tiertypus): es finden sich im mehr oder weniger undurchlässigen Mantel Ein- und Ausgangsöffnungen zum Durchtritt von Partikelchen der Außenwelt (Nahrung, Atmungsluft usw.). In diesem letztern Fall vollzieht sich der Austausch der Körpersubstanz mit den Contenta chemisch und mechanisch vorzugsweise nur im Innern des Organismus. Sie verweilen kürzere oder längere Zeit in seinem Innern und tragen auch mechanisch wesentlich zur Formbildung desselben bei, indem sich der Organismus hier meist wieder durch Schleim absondernde, d. h. Widerstand verringernde Membranbildung gegen diese „innere Außenwelt" abschließt.

Einen wesentlichen Unterschied lernen wir hier also bereits zwischen dem pflanzlichen und tierischen Organismus kennen. Der ektosklerale pflanzliche Organismus ernährt sich nur durch Osmose: Es kommt bei ihm niemals zur Kanalbildung, wo unverdaute Contenta befördert werden, wie wir dies beim endoskleren animalen und auch beim ektoskleren tierischen Organismus zumeist beobachten. Schon daraus geht hervor, daß die Organisation, wie die Ernährungsweise der pflanzlichen Zelle eine bedeutend einfachere sein muß, als diejenige des einzelligen tierischen Organismus. Auf- und Abbau der pflanzlichen Zelle vollzieht sich in höchst elementarer Weise; ihr Nährmaterial schon ist einfacher zusammengesetzt, und infolgedessen ist es auch ihr Protoplasma selber. Da aber der pflanzliche Zelleib den animalen Organismen direkt und indirekt als „Nahrung" dient, so kann man daraus mit Fug und Recht die Behauptung ableiten, daß das pflanzliche Leben unserer Erde der Vorläufer des tierischen Lebens war und jedenfalls älter sein muß als dieses.

Die administrative Funktion der Nahrungsmittelbearbeitung und -Verteilung haben wir ausschließlich dem wässerigen Bestandteil (*s*) der Zellensubstanz zugeschrieben. Sie allein vermittelt ja den chemischen Prozeß und auch den innern Kontakt mit den beiden andern Bestandteilen, *n* und *p* des Protoplasmas. In einem Punkte freilich müssen wir unsere obige Aussage verifizieren. Es betrifft dies die Bemerkung, daß die unmittelbare, „aktuelle" Reaktion, wie sie das Protoplasma des einzelligen Organismus auf die Einwirkung der verschiedenen Energiegruppen als Lebensäußerung kennt, einer Energieaufspeicherung nicht fähig sei, mangels der nötigen Vorrichtungen. Dieser Satz hat wohl seine Richtigkeit in Beziehung auf die mechanische und Reizenergiegruppe; in bezug aber auf die chemische Gruppe ist die Theorie nicht anwendbar. Wir finden nämlich gar nicht selten im pflanzlichen Zellenleib öle- und stärkemehlhaltige Stoffe aufgespeichert, die einen hohen Kalorienwert besitzen. Chemisch-potentielle Energie scheint also in der Tat auch ohne mechanische Vorrichtungen aufgestapelt zu werden.

Mit unserer Einteilung der protoplasmatischen Substanz *P* in die drei Bestandteile *n*, *p* und *s* wird die Unterscheidung in wässeriges Exoplasma und körniges Endoplasma überflüssig. Das Serum ist der beweglichere flüssige Teil der Substanz, der nur wenig festere, gekörnte *P*-Partikelchen führt, während umgekehrt der zähflüssige, gekörnte plasmatische Zellbestand (*p*) wasserärmer ist, gleich wie der Nucleus (*n*).

Die Formveränderung des Organismus, das „Fließen der Form" wird hervorgebracht, wie RHUMBLER, LÖB und Andere beweisen, durch Oberflächenspannung, die Nahrungsaufnahme vermittelst der Adhäsion, die Assimilation durch Solution und Dissolution.

Noch einer funktionellen Einrichtung muß hier gedacht werden, die man im nackten einzelligen Organismus zu sehen bekommt. Ich meine die Vakuole. Ihr Name ist unglücklich gewählt, da es sich natürlich keineswegs um ein Vakuum oder eine mit Luft gefüllte Blase handelt, sondern vielmehr um Flüssigkeitstropfen, die meist rhythmisch im Protoplasma verschwinden und wieder an derselben Stelle entstehen, indem die Flüssigkeit sich rhythmisch mit dem Plasma mischt und wieder sammelt.

Das Einteilungsprinzip der *P*-Substanz in *n*, *p* und *s* ist mit dieser Erscheinung sehr wohl vereinbar. Die *s*-Substanz, die in reiner Form in der Vakuole zusammenläuft und von da aus durch rhythmische Zusammenziehung der *p*-Substanz wieder ausgepreßt wird, entspricht einer primitiven Pumpenanlage des Herzens. Auf welchen Reiz hin mögen diese Kontraktionen erfolgen? — Die Antwort auf diese Frage scheint noch offen zu stehen. —

II. Die natürliche Weiterentwicklung in der Organisation der lebenden Substanz.

1. Das Leben im zusammengesetzten Organismus.

a) Arbeitsteilung und Organisationsprinzip.

Nicht nach der Anzahl der zurzeit vorkommenden Individuen berechnet, sondern vielmehr nach der Artdifferenzierung ihrer protoplasmatischen Leibessubstanz, tritt uns aber die gesamte organische Welt weit mehr in Zellkomplexen organisiert entgegen, denn in einzelliger Form.

In solchen Zellverbänden behält die einzelne Zelle ihre Individualität in ganz verschiedener Weise bei, und selbst über diesen Rest von Individualität der Zelle im Gewebe kann man meines Erachtens verschiedener Meinung sein. Die zutreffendste Antwort in der Beurteilung dieser Frage würde uns wohl der Leiter eines großen Geschäftsbetriebes geben, wenn wir an ihn die Frage richten würden, wie hoch er die individuelle Bewertung eines Angestellten anschlage. Die Antwort würde für uns ebenso unbefriedigt ausfallen, wie für ihn die Fragestellung selber.

Wenn VERWORN in der Organismenwelt fünf verschiedene Individualitätsstufen unterscheidet, nämlich:

1. Individuen erster Ordnung . . . . . die Zellen,
2. Individuen zweiter Ordnung . . . . . die Gewebe,
3. Individuen dritter Ordnung . . . . . die Organe,
4. Individuen vierter Ordnung . . . . . die Personen,
5. Individuen fünfter Ordnung . . . . . die Staaten,

so kann man gewiß auch mit ebensoviel Berechtigung den umgekehrten Weg betreten und sagen:

1. Alles Protoplasma von der nämlichen Zusammensetzung und Beschaffenheit (Artprotoplasma, = Art-*P*) bildet eine Einheit.
2. Jedes Individuum (Person) ist ein räumlich begrenztes Partikelchen der Arteinheit, dem als solches volle Lebens- und Entwicklungsfähigkeit zukommt.
3. Organe, Gewebe und Zellen sind nur Funktionäre und Betriebseinrichtungen des individuell organisierten Artprotoplasmas zur Ausübung spezieller Funktionen. Sie sind nur in Verbindung mit dem Ganzen für längere Zeit lebensfähig, wie umgekehrt das Ganze nur durch das richtige Ineinandergreifen dieser Organisationen auf die Dauer lebensfähig bleibt.

Die höher entwickelte Lebensfunktion des zusammengesetzten Organismus ist die natürliche Folge einer vervollkommneten und spezialisierten Betriebseinrichtung der Artsubstanz. L.S.61.

Unter spezieller Rücksichtnahme auf den menschlichen Organismus hat diese vereinfachende Anschauungsweise entschiedene Vorteile. Sie stellt vor allem das Einheitliche, Einigende, Gemeinsame der Art mehr in den Vordergrund und läßt das individuell Variable zurücktreten.

Nach dieser Darstellungsweise betrachten wir auch den menschlichen Körper wieder als einen einheitlichen größern und höher organisierten Protoplasmaklumpen, der sich mit der Außenwelt in Relation setzt und nach innen und außen in Energieaustausch tritt.

Von der physikalischen Beschaffenheit des Artprotoplasmas hängt nun im allgemeinen auch seine Struktur ab. Je nach dem Gemisch dieser Körpersubstanz, ihrer quantitativen und qualitativen Zusammensetzung, ändern sich auch ihre physikalischen Eigenschaften von Art zu Art. Für die Formbildung des Organismus kommt zunächst speziell nur der *p*-Bestandteil, das Plasma, in Betracht. Mit der Artveränderung des Gesamtprotoplasma ändert auch dieser Teil seine Zusammensetzung und sein Gefüge, und die Veränderungen seiner physikalischen Eigenschaften (Gerinnungsfähigkeit, Elastizität, Fließbarkeit usw.) sind gleichbedeutend mit einer Veränderung seiner Reaktionsfähigkeit auf die Einwirkung bestimmter äußerer Energien.

Die Plasmasubstanz *p* ist nun aber vorzugsweise die Materie der II. Energiegruppe, in erster Linie der jederzeit und konstant wirkenden molekulären, mechanischen und gravitätischen Energieform, während die Energieformen der chemischen (I.), wie der Reizkräfte (III.) weit weniger permanent in Wirkung sind. Die *p*-Substanz ist daher auch die im Organismus allgemein verbreitetste, wie sie für die Formbildung die wichtigste ist. Sie wird von der flüssigen *s*-Substanz durchtränkt und bildet auch die Stütze und das Isoliermaterial für die Stränge und Zentren der *n*-Substanz. Alle übrigen Organe und Gewebe sind als Abkömmlinge der *p*-Substanz nur organisatorische Vervollkommnungen derselben (Faszien, Sehnen- und Muskelgewebe; Knorpel, Bänder und Knochen; Drüsenorgane usw.).

Schon im einzelligen Organismus führt die verschiedengradige Beweglichkeit der Moleküle zur Ausscheidung von Ectoplasma und Endoplasma, zur exzentrischen und konzentrischen Verdichtung, der kolloidale Zustand des Protoplasma aber zur Oberflächenbekleidung (Kolloidhäutchen, Zellmembran, Epidermis).

Die Quantität der molekulären Energie, der Anziehung der Moleküle untereinander (Adhäsion und Kohäsion), scheint unter Voraussetzung bestimmter äußerer Verhältnisse (Druck, Wärme) für ein Gemisch von bestimmter Zusammensetzung (Artprotoplasma P_n) konstant zu sein, gleichwie Siedepunkt, Schmelzpunkt, Zug- und Druckfestigkeit usw. für einen anorganischen Stoff. Damit sind auch der Wachstumsgröße des

Individuums von vornherein gewisse Schranken gesetzt. Die Größe eines Artpartikelchens ist also bis zu einem gewissen Grade abhängig von der Zusammensetzung des Artgemisches. Bei anorganischen Stoffen pflegt man die Masse als „kurz- oder langfaserig" zu bezeichnen. Ihre Struktur (Härte, Sprödigkeit) kann jedoch durch technische Prozeduren beliebig verändert werden (Eisenguß, Stahlguß), indem man das Verhältnis der Molekularanziehung zur Massenanziehung (Gravitationsenergie) beispielsweise durch Beimengung von Kohle verändert.

Dieser Gedanke über die Bedeutung der innern Struktur und ihr Verhältnis zur äußern Belastung ist wohl im Auge zu behalten bei der Untersuchung statisch-mechanischer Verhältnisse größerer Organismen.

Wir folgen hier wieder VERWORN, der die Reizerscheinungen sämtlicher Energieformen auf das Protoplasma der Zelle zusammenstellt. Was für ein kleines *P*-Klümpchen gilt, wird auch für ein größeres organisches Individuum seine Geltung haben.

VERWORN schreibt: „Alle mechanische Reizung der lebenden Substanz besteht in einer Veränderung der Druckverhältnisse, unter denen sie sich befindet. Von der Einwirkung der kontinuitätstrennenden Zerquetschung oder Zerschneidung an bis zur leisesten Berührung und bis zur feinsten Veränderung des Luft- oder Wasserdruckes kann jede Abstufung der Druckverhältnisse als Reiz wirken." Der Autor unterscheidet dann im weitern drei Arten von Erscheinungen an der Zelle, die durch einseitig wirkenden Druck (Barotropismus) hervorgerufen werden können:

1. Erscheinungen als Folgen eines Kontaktreizes (Stereotropismus oder Thigmotropismus).
2. Erscheinungen, die durch den sanften Strom eines langsam fließenden Wassers erzeugt werden (Rheotropismus).
3. Erscheinungen, die auf Reize zurückzuführen sind, welche minimale Druckdifferenzen verschiedener Höhenlagen in Luft und Wasser hervorzurufen imstande sind (Geotropismus).

Je massiger und größer nun ein Organismus geworden, um so größer werden auch diese Druckdifferenzen und der durch den Barotropismus hervorgerufene innere Reiz auf die Körpersubstanz selber. Er wird größer sein in den tiefstgelegenen Partien der Körpermasse, als in den höher gelegenen derselben. Dadurch würde aber in den tiefern Partien eine Kraftverschiebung eintreten zu ungunsten der innern molekularen Kräfte, welche die Moleküle aneinander halten.

Schon das einzelne Protoplasmapartikelchen aber ist in hohem Grade inhomogen und in seinen einzelnen Teilen von verschiedengradiger Beschaffenheit, sowie von verschiedenem Molekulargewicht. Und trotzdem soll das *P* der ganzen Art ein und dieselbe Zusammensetzung haben? —

Es wird dies nur dadurch ermöglicht, daß sich nicht nur im Molekül durch chemische Energie eine bestimmte Strukturanordnung der Atome vollzieht, sondern daß auch im chemischen Gemisch der *P*-Substanz jede Energieform der mechanischen Gruppe II in gleichem Maße wie die andere zur Geltung kommt. Die innern mechanischen Kräfte treten miteinander in Austausch, und sobald alle erforderlichen Ressourcen zum Aufbau der Form in der Substanz selber vorhanden sind, so ergibt sich die Form selber als das Resultat dieses Ausgleichs der innern Kräfte der Substanz mit ihrer Außenwelt. Da aber einzelne dieser Kräfte, wie die Kohäsion und Adhäsion, nur einen kleinen Aktionsradius haben, so muß sich der Ausgleich der Kräfte innerhalb dieses Aktionsradius vollziehen.

So zerlegt sich ein größerer Protoplasmaklumpen von selber in eine Menge von Einheitsbezirken, in dem Bestreben, die Einheit seines Gemisches zu wahren. Durch Scheidewandbildung wird das Übergewicht der Schwerkraft über die Anziehungskraft der Moleküle verhindert, wobei die Nebenbezirke eines Aktionskreises auf denselben bereits Kontaktreiz ausüben. Wir sagen also:

Die Zellbildung des zusammengesetzten Organismus ist das Resultat des Ausgleichs mechanischer und statischer (Gravitations-) Energie in der protoplasmatischen Substanz. L.S. 62.

Es läßt sich dies wohl am besten am Bau eines Gefäßsystems einer Pflanze erklären, wie überhaupt die Botaniker bekanntlich die ersten gewesen sind, welche Licht in die Kinetik des lebenden Organismus gebracht haben. Über die Begriffe der „Kinematik" und „Kinetik" der Entwicklung siehe auch W. ROUX Einleitung zu den Abhandlungen 1895.

Nach dem physikalischen Gesetz der Kapillarattraktion steigt eine Flüssigkeit in einer Kapillarröhre nur so lange in die Höhe, als die Adhäsion eines Flüssigkeitsteilchens an der Wandung der Röhre größer ist, als die nach dem Innern der Flüssigkeit wirkende Kohäsion. Wird das Kapillarrohr zu weit, so überwiegt die von der Rohrachse aus wirkende Kohäsion die Adhäsion der Flüssigkeitsteilchen an der Rohrwand. Die Flüssigkeit steigt in dem Rohr nicht mehr in die Höhe.

Ist also beispielsweise in einer Flüssigkeit die Adhäsionskraft (A) größer als die Kohäsionskraft (K), so steigt unter der Voraussetzung, daß irgend eine Stoßkraft (osmotischer Druck unten, Verdunstung oben) ihrer Schwerkraft entgegenarbeitet, ein Tropfen dieser Flüssigkeit in einer Röhre in die Höhe, sobald deren Durchmesser nicht größer ist als der Durchmesser des Tropfens.

Da nun die chemisch-physikalische Zusammensetzung eines Artgemisches dem Plasma seinen Aktionsradius aus dem Verhältnis von A zu K vorschreibt, so ist danach auch die Weite der Kapillarröhre von selber bestimmt, sobald es durch äußere Reizzustände (mechanischer Zug und Druck) zu einer Scheidewandbildung zwischen den einzelnen Aktionsbezirken im Plasma kommt.

Bei diesem Spannungsausgleich, der autochthon zur Formbildung führt, gesellt sich aber zum molekularen und mechanischen Reiz als dritter Reizfaktor die Schwerkraft hinzu, der Belastungsdruck, der mehr in den untern Partien der Zelle zum Ausdruck kommt. Die Wandung muß daher hier verstärkt werden, sei es durch Einlage von widerstandsfähigerem Material, sei es durch Anbringen von Stützen und Sperrvorrichtungen. In einem voluminöseren Protoplasmaklumpen, als den wir nunmehr auch den menschlichen Organismus aufgefaßt wissen möchten, spielt dieser dynamo-statische Faktor als Formerhalter geradezu die Hauptrolle.

Er ist beim animalen Protoplasma in seinem absoluten Werte höher zu taxieren als der formbildende, denn es ist nach unsern Untersuchungen an der menschlichen Beckenform bei der Species homo

$$\frac{\text{Formerhaltung}}{\text{Formbildung}} = \varphi = \frac{R}{r} = \frac{1{,}2246}{1} = k\,(\text{konstant}).$$ (Siehe B.S. 5 u. B.S. 50.)

Die Ergebnisse, wie wir sie oben als natürliche Folge des Zusammenwirkens innerer mechanischer Kräfte (Kohäsion, Adhäsion, Zug, Druck) mit der äußern Schwerkraft im einfachen Zellbau kennen gelernt, — sie sind also dieselben, wie sie uns in der Kausalanalyse der Beckenform gegenüber getreten. Es ist der Quotient aus Formbildung und Formerhaltung, den wir in Form eines konstanten Verhältnisses (φ) zweier Kreisradien kennen gelernt haben.

Wir heben dabei ausdrücklich hervor, daß wir diese Verhältniszahl aus der Beckenform zweier menschlicher Individuen, also zweier Individuen derselben Spezies, wenn auch verschiedenen Geschlechtes, berechnet und für beide in gleicher Weise als konstant erklärt haben.

$$\varphi = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ = k.$$

Es ist nun auf einem bestimmten Himmelskörper (Erde) die Anziehungskraft für die Masseneinheit eines Stoffes stets die gleiche, und daher auch ihre Wirkung konstant, solange dieser Stoff die gleichen physikalisch-chemischen Eigenschaften besitzt. Und das setzten wir für ein Artprotoplasma jetzt ohne weiteres voraus. Daraus ergibt sich der Satz:

L. S. 63. **In einem Artprotoplasma ist das Verhältnis aller formgestaltenden Kräfte zueinander schon in seiner Zusammensetzung gegeben,** gleichviel ob diese Kräfte in einem kleineren einfacheren Betriebsorgan (Zelle) oder am zusammengesetzten Organismus wirken.

Nun ist aber an der Formbildung eines Organismus nicht die ganze Protoplasmasubstanz (*P*) in gleicher Weise beteiligt. Die Plastizität kommt in bevorzugter Weise der „plastischen" *p*-Substanz zu. Die flüssige *s*- und die mehr breiige *n*-Substanz werden aber vom Plasma umhüllt, umschlossen und gelangen so ebenfalls zu einer dynamischen Kraftentfaltung, etwa ähnlich, wie die in einen dünnen Gummischlauch eingepreßte Flüssigkeit. Bestimmend bleibt daher der herrschende innere und äußere Druck in Korrelation mit dem Elastizitätsgrad des Schlauches (der Zellwand, Ballonwand usw.). Beide sind bei der Organisation in letzter Instanz wieder abhängig von den Eigenschaften der *p*-Substanz und ihrem endoskleralen oder ektoskleralen Verdichtungsvermögen. Sie bedingen zu guter Letzt stets jede Formbildung, also auch jeden Wechsel der Form (Exp. II—IV u. X).

Nun ist aber der Formwechsel nicht die einzige Lebensäußerung der lebenden Substanz, wenn auch für unsere Untersuchungen gleichwohl die wichtigste! —

Für den Lebenshaushalt freilich scheint der Stoffwechsel von weit größerer Bedeutung zu sein. Durch die Zufuhr von chemischer Energie in die organische Substanz, durch chemisch synthetische und Spaltungsprozesse, durch Assimilations- und Dissimilationsvorgänge aller Art wird bekanntlich allein dieser Substanz die Möglichkeit erteilt, „Leben" zu entfalten.

Dabei kommt es auch bei der chemischen Energieform, der Statik und Mechanik der Atome, in gleicher Weise wie bei der gröbern Mechanik der Moleküle und Partikel im Prinzip nur darauf an, aktuelle Energie in potentielle umzuwandeln. Diese wird in der organischen Substanz als „Lebenskraft" aufgestapelt und kann vielleicht erst nach längerer Zeit wieder zur Arbeitsleistung herangezogen werden — „spontan", wie man zu sagen pflegt —, im Grunde genommen aber ausgelöst durch irgendeinen kleinen Reiz (Reflex, Wille), kurz durch ein Moment, das in keinem andern Verhältnis zur geleisteten Arbeit zu stehen braucht als in dem der Auslösung.

Die Hypothese, daß auch schon die Heranbildung der anorganischen Materie zur organischen Substanz auf die mannigfaltigste Wechselwirkung chemischer Energien zueinander zurückzuführen ist, scheint mir oben genügend gewürdigt worden zu sein, und so mag es hier ausreichen, die Bedeutung des Stoffwechsels für den Haushalt der lebenden Substanz der Vollständigkeit halber nochmals in Kürze gestreift zu haben. Eines muß dabei noch betont werden, der Umstand nämlich, daß zahlreiche chemische Prozesse bereits nur unter der äußern Einwirkung bestimmter anderer Energieformen vor sich gehen, die wir oben in der Gruppe III unter dem Namen „Reizenergie" zusammengestellt haben und die da sind: Wärme, Licht, Schall, Elektrizität, Galvanismus, Magnetismus. Daß durch einen

solchen Anreiz vorhandene chemische und magnetische Energie in Arbeit umgesetzt werden kann, ist jetzt ohne weiteres klar; doch ist auch darauf zu achten, daß bei der Bindung von Atomen ein Teil der frei werdenden potentiellen Energie wieder in aktuelle Energie übergehen und frei werden kann in der Form von Wärme, Licht usw.

Jede irdische Kraft, die wir kennen, hat ihren Ursprung in der Sonnenstrahlung. Nach SCHRÖDER wird von dieser Gesamtenergiequelle jährlich in der Vegetation etwa 22mal so viel Energie gesammelt, als die in gleicher Zeit geförderte Kohlenmenge enthält. Aber auch diese durch die Pflanzenwelt gebundene Kraftmenge macht nur einen minimalen Teil (0,1 %) der gespendeten Sonnenkraft aus. Wie ist derjenige Teil einzuschätzen, welchen die Tierwelt in sich aufstapelt? Die Antwort auf diese Frage ergibt die Berechnung unserer Herztätigkeit, deren Gesamtarbeit in 24 Stunden auf 18000 Meterkilogramm geschätzt wird.

So geht ein steter Wechsel vor sich in allen möglichen Formen und Modifikationen von Energie. Je höher konstruiert und potenziert die Materie ist, um so größer die Lebensfähigkeit, um so farbenreicher das Leben selber.

b) Beziehungen zwischen mechanischer Funktion und Form.

Was man im Grunde unter einer Lebensfunktion zu verstehen habe, darüber scheinen vielfach noch unklare Vorstellungen zu walten. Man wird sich mit Vorteil auch hier an den Begriff der mathematischen Funktion anlehnen, wofür die Definition lautet:

Wenn zwei Größen derart voneinander abhängen, daß zu jedem Wert der einen ein bestimmter Wert der andern gehört, dann nennt man die eine Größe eine Funktion (f) der andern. (H. A. LORENTZ, Lehrbuch der Differential- und Integralrechnung. 1907.)

Dieser Begriff der Abhängigkeit zweier Größen voneinander findet sich auch in der Physik. Beispielsweise ist die Schwingungsdauer T eines Pendels abhängig von der Länge des Pendels. Es ist also:

$$T = fl.$$

Im Vorangehenden sind wir bereits auf eine ganze Anzahl solcher Abhängigkeitsverhältnisse gestoßen. Schon bei der Analyse der Beckenform ist auf den verschiedenen Darstellungsebenen ein System von zwei Kreisen aufgetaucht, von denen der eine eine Funktion des andern darstellt. Denn das Verhältnis der beiden Kreisradien zueinander ist durch eine konstante Verhältniszahl (φ) geregelt.

Die beiden Kreise aber sind der projektionstechnische Ausdruck für zwei Kugeln, die nicht rein mathematisch nur für sich genommen werden dürfen, sondern die in Korrelation gebracht werden müssen mit ihrer tellurischen Unterlage und ihrer Außenwelt überhaupt. Die Orientierung dieser Kreise bzw. Kugeln mußte daher notgedrungen Rücksicht nehmen auf die Richtung der Schwergewichtslinie.

Beim Vergleich der beiden Geschlechtstypen der menschlichen Beckenform trat nämlich die überraschende Tatsache zutage, daß die physikalische Funktion der beiden Kreise und Kugeln keineswegs nur identisch ist mit der rein mathematischen Funktion. Während die letztere bei beiden Geschlechtern sich gleich bleibt, indem hier nur das Größenverhältnis der beiden Kreisdurchmesser zueinander in Frage kommt, muß bei der statischen Funktion außerdem noch die Lage der gemeinschaftlichen Sehne der beiden sich schneidenden Kreise zur Vertikalen, oder verständlicher auzgedrückt: Lage von Angriffs- und Widerstandspunkt berücksichtigt werden; das kommt in der statischen Anordnung des geometrischen Systems deutlich zum Ausdruck (s. Fig. 92).

Unter genauer Würdigung dieser Verhältnisse bei der Formanalyse sind nun in der Lagerelation der Projektionspunkte auf den verschiedenen Darstellungsebenen eine Menge von Beziehungen aufgetaucht, die wir als Funktionen eines geotropischen Kugelsystems bezeichnen müssen. Bei der Synthese der Form haben sodann gewisse Peripheriepunkte, Winkel und Kreise die Rolle als Funktionäre übernommen. Dadurch wurde die Möglichkeit geschaffen, aus der Lagebeziehung einiger weniger Projektionspunkte der Form zum vertikal orientierten Koordinatensystem die ganze Form auch synthetisch zu rekonstruieren (s. Synthese der männlichen und weiblichen Beckenform, S. 139 u. 203).

Wenn auch diese synthetische Rekonstruktion unser Verständnis über den Aufbau der Form wesentlich gefördert hatte, so durften wir es doch dabei nicht bewenden lassen. Ein Verständnis über das genetische Zustandekommen der ganzen Körperform war damit noch nicht gegeben. Es bedurfte hierzu einer abermaligen Erweiterung des Begriffes der „Funktion".

Den abstrakten Begriff der mathematischen Funktion verlassend, haben wir sodann die Körperform in statische Korrelation zu ihrer Unterlage, der Erde, gesetzt.

L. S. 64. Nun ist aber **bei jedem Körper,** sei er tot oder lebend, seine Form und Lage **das Produkt eines mechanischen Gleichgewichts der sämtlichen innern und äußern Kräfte der Masse.** Er ist daher stets auch als in Relation gesetzt zu denken zu seiner Umgebung. Dieser Satz gilt in gleicher Weise, mag der Körper im Wasser schwimmen oder über oder in der Erde sich befinden. Eine Änderung in Form oder Lage des Körpers kommt nur durch Einwirkung irgendeiner innern oder äußern Kraft zustande; in allen Fällen ist sie als das Ergebnis einer Arbeitsleistung aufzufassen. Ein Lagewechsel ohne Veränderung der Form erfolgt stets nur bei festen wenig elastischen Körpern durch Einwirkung einer äußern Kraft (Billardkugel); eine Formveränderung dagegen kann auch auf innere Arbeitsleistung schließen lassen. Beim lebenden tierischen Organismus ist dieser Vorgang sogar weitaus der häufigere. Dabei wird aufgespeicherte potentielle Energie frei und an geeignet konstruierter Maschine zur Arbeitsleistung herangezogen.

Da jede Formveränderung eine Teilbewegung der Masse darstellt, so muß sich diese Teilbewegung auf einen Drehpunkt stützen können. Es ist der relative Fixpunkt, welcher der bewegten Masse gegenüber als relativ fest erscheint. Ohne einen solchen relativen Fixpunkt, auf den sich die Masse stützen kann, ist auch eine Teilbewegung undenkbar (ARCHIMEDES).

Aber nach welcher Seite hin vollzieht sich diese Teilbewegung, z. B. die Ausstreckung eines Pseudopodiums einer Amöbe? — —

Daß die Grundgestalt einer Amöbe oder eines Leukozyten die Kugelform ist, von der alle anderen Formen ausgehen und in die sie durch Retraktion wieder zurückkehren, wird niemand bestreiten wollen. VERWORN stellt sich nun mit RHUMBLER und LÖB auf den Standpunkt (entgegen ENGELMANN), daß die Formveränderung dieser Protoplasmakugel allein durch Veränderung der Oberflächenspannung vor sich gehe. So richtig diese Anschauung im allgemeinen auch sein mag, so bedarf diese Erklärung doch des Hinweises auf ein weiteres Moment, nämlich auf den kolloidalen Zustand der protoplasmatischen Leibesmasse, und damit wieder auf die verschiedengradige Beweglichkeit der Moleküle unter sich.

Bei einem schwimmenden Organismus (Amöbe, Leukozyt) kann sich diese verschiedengradige Beweglichkeit aber nicht nur auf die eigenen Moleküle, sondern auch auf diejenigen des umgebenden Mediums beziehen, wie übrigens auch im luftförmigen Medium. Im Grunde ist ja das Zustandekommen von Spannungsdifferenzen an der Oberfläche

der Protoplasmakugel auch nur hierdurch bedingt, indem Verdichtungs- und Veränderungszonen auftreten, die durch zuströmende, d. i. leichter bewegliche Moleküle, wieder ausgeglichen werden.

Und noch viel leichter als im relativ homogenen luftförmigen oder flüssigen Medium der Außenwelt kommen in der kolloidalen Protoplasmasubstanz des Organismus selber solche Strömungen zustande.

Ist die Zusammensetzung eines kolloiden Gemisches einmal gegeben, so kann sich dieses Gemisch in einer bestimmten Flüssigkeit oder allgemein genommen seiner Außenwelt gegenüber in Austausch seiner chemischen und physikalischen Kräfte nur in einer ebenfalls bestimmten und im voraus zu berechnenden Weise erhalten. Das ist seine physikalische Funktion; denn wenn zwei mechanische Größen direkt so voneinander abhängen, daß zu jedem Wert der einen ein bestimmter Wert der andern gehört, so ist der mathematische Begriff (F) der „Funktion" auch physikalisch gegeben.

Wir haben nun die Funktionen der zweiten Energiegruppe, der mechanischen Energieformen speziell, zum Gegenstand unserer Betrachtungen gemacht. Die Funktionen der chemischen Energieformen sind Gegenstand der Untersuchungen der physikalischen Chemie und Serologie geworden. Viele Probleme der induzierenden Reizenergie aber sind technisch und kinematisch durch zahlreiche Erfindungen der letzten Jahrzehnte (Photographie, Telephon, Phonograph, Kinematograph) in mehr oder weniger vollkommener Weise gelöst.

Es wäre also hier lediglich die *mechanisch-statische Funktion* nochmals näher ins Auge zu fassen.

Indem wir bereits auf den prinzipiellen biologischen Unterschied im Pflanzen- und Tierleben hinwiesen, hatten wir erwähnt, daß der Tierleib durch Aufnahme von Nahrung und Atmungsluft ein Stück Außenwelt in sich aufnimmt und gewissermaßen, für eine gewisse kurze Zeitdauer wenigstens mit derselben so verwächst, daß er als Einheit der Außenwelt gegenübertritt.

Dieser Satz gilt in gleicher Weise für die Statik der einzelligen Amöbe im Wasser, wie für den mit erhobenem Haupte senkrecht einherwandelnden Menschen. Prinzipiell besteht hier also kein Unterschied mehr zwischen den beiden. Es ist vielmehr nur ein gradueller Unterschied in der Vervollkommnung der technischen Mittel und Anlagen zur Ausübung der mechanischen Funktion nachweisbar, der in letzter Linie wieder zurückgeführt werden muß auf die Heterogenität der protoplasmatischen Leibessubstanz und die Möglichkeit einer autochthonen Morphogenese infolge ihrer verschiedenartigen Zusammensetzung.

Die innere mechanische Organisation des tierischen Organismus ist also die direkte Folge des inhomogenen (Kolloid)-Zustandes des Protoplasmas und seiner doppelten Beziehung zur innern und äußern Außenwelt.

Durch verschiedenartige Bewegungen und ungleichmäßige Belastungen der Masse haben sich in der Körpersubstanz vollzogen:

a) Trennung von flüssigem und festerem Material,
b) Strombildungen,
c) Kanalbildungen,
d) Schichtbildungen,
e) Verlagerung des Schwerpunktes, Störung des Gleichgewichtes durch kontraktorische Formveränderung,
f) Rotation des Körpers oder
g) Versteifungsanlagen und Muskelanlagen zur Steigerung der passiven zur aktiven Elastizität (Kontraktilität).

Alle diese biologischen Erscheinungen müssen notgedrungen auftreten, sobald in einer inhomogenen Masse die erforderlichen Voraussetzungen gegeben sind. Sie erfolgen als Reaktion, als notwendiger Ausgleich, sobald sich nur zwei ungleiche Kontrahenten zu-
L.S. 65. einander mechanisch und dynamisch in Korrealation, in Aktion setzen. **Auf die „Aktion" der „Außenwelt" folgt die Reaktion der Körpersubstanz.** Das Resultat aus Aktion und Reaktion ist berechenbar.

Handelt es sich beispielsweise um zwei Kräfte („Kraft und Last"), die an einem einarmigen Hebelarm angreifen, die eine in dieser, die andere in entgegengesetzter Richtung, so gehört — Gleichgewichtslage vorausgesetzt — zu jeder der beiden ein Hebelarm von bestimmter Länge. Es ist also mit dem statischen Moment der Kraft auch das statische Moment der Last bekannt und umgekehrt, sobald wir nur die Länge des einen Hebelarmes, seinen Stützpunkt und sein Kraftmoment kennen.

Zu einer bestimmten Größe der Kraft gehört also auch, falls die Länge des Hebelarms gegeben erscheint, eine bestimmte Größe der Last, um Gleichgewicht herzustellen. Ist der Hebelarm ein virtueller, physischer, d. h. hat er im Gegensatz zum ideellen mathematischen Hebel Form und Gestalt, so ist er mit dem Auge wahrnehmbar, meßbar. Aber auch der ideelle Hebelarm tritt im Körper in gleicher Weise als Funktionär, als Vermittler auf, um das statische Moment von Kraft und Last auszugleichen (Tangentenkonstruktion Fig. 69, 70, 77, 78).

L. S. 66. **Das Moment der Kraft eines Organismus besteht in der innern Festigkeit + Elastizität,** die der Organismus samt seinem Inhalte der Außenwelt entgegenzustellen vermag; **das Moment der Last** ist der Gegenstoß der letztern, **der Druck der Muttererde auf die Körperform.** Ob die Angriffsrichtung dieses Stoßes auf die Rumpfwand an einem Hebel erfolgt, der als Stummel oder Fortsatz der Rumpfform erscheint, auf einen Körperring oder irgendeine Achsenlinie der Stammesform, überall bleibt das Verhältnis (Kraft, Last und Widerstand) dasselbe bei ein und demselben Artmaterial.

Das Kraftmoment des animalen Organismus aber ist einerseits wieder das Ergebnis eines Austausches zwischen den molekulären Kräften der eigenen Körpersubstanz mit der in den
L.S. 67. aufgenommenen Kontenta vorhandenen Energie. **Der Ausgleich beider Faktoren vollzieht sich unter beständig oszillierenden Schwankungen um die Gleichgewichtslage herum.** Ohne diesen stäten innern Spannungsausgleich wäre die lebende Körpersubstanz selbst „tot".

Aber aus eben demselben Ausgleich aller innern Spannkräfte gehen zum größten Teil auch alle jene Veränderungen der Körperform hervor, die modifizierende Abänderungen und Abweichungen von der ursprünglichen Kugelform jedes Organismus darstellen, sofern diese Formbildung nicht von intra- und extrauterinen fremden Kraftmomenten direkt beeinflußt wird.

Diese äußern Kraftmomente bilden also die Last für den Organismus. Auch sie sind größern Schwankungen unterworfen, denn selbst die Schwerkraft ist nicht konstant. Ihre Größe wechselt bekanntlich je nach der Höhenlage des Ortes, indem sie sich vermindert mit zunehmender Entfernung vom Mittelpunkt der Erde aus gemessen. Schon an den beiden Polen der Erde ist das Gewicht eines Körpers um 0,5 Prozent größer als am Äquator.

Während aber rein physikalisch genommen die Masse eines Körpers eine unveränderliche Größe darstellt, so ist dies bei der biologischen Auffassung, wie eben beleuchtet worden, beim lebenden Organismus nicht der Fall. Schon der kontinuierliche Austausch zwischen der leicht veränderlichen Körpermasse und ihrer Außenwelt bedingen beständige Gewichtsveränderungen der erstern; schon dies müßte daher auch beständig geringe Formveränderungen im Gefolge haben, und damit auch wegen ihrer Kleinheit freilich kaum beachtete Verschiebungen des Schwerpunktes. Dahin zu rechnen wären in erster Linie

die Gestaltsveränderungen infolge der Respiration. Auch der Austausch durch die äußere Respiration und Transsudation durch die Haut ist nicht zu unterschätzen. Anderseits auch sind die Größen und Gewichte des einzelnen Individuums infolge seines Wachstums stetig wechselnd, und selbst nach vollendetem Wachstum treten noch beträchtliche tägliche Schwankungen im Körpergewicht zutage. Zudem ist der lebende tierische Körper zufolge seiner innern Organisation zu ausgiebigen Lokomotionen wie zum Tragen von Lasten befähigt und viele Tierarten bewohnen, gleich wie der Mensch, in gleich ungestörter Weise die größten Tiefen wie die höchsten Berge unseres Erdballs. Das Moment der Kraft, wie das Moment der Last sind daher im Organismus sehr variable und wenn dieser in seiner Funktionstüchtigkeit, ja in seiner Lebensfähigkeit nicht gefährdet sein soll, so muß er beide Momente Kraft und Last miteinander in harmonischen Einklang bringen können: Formbildung entspricht dem Moment der innern Kraft (Widerstand), Formerhaltung demjenigen der äußern Last (Schwerkraft).

Der mathematische Ausdruck dieses konstanten Verhältnisses zwischen Kraft und Last der Art, von Formbildung: Formerhaltung ist jene konstante Verhältniszahl φ, die sich aus der Formanalyse des menschlichen Beckens ergeben hat.

Das Mittel aber, dieses konstante Verhältnis zu schaffen und aufrecht zu erhalten, liegt im funktionellen Anpassungsvermögen der organischen Körpersubstanz an den formschaffenden Innendruck einer- und den statischen Außendruck anderseits.

c) Vererbung und funktionelle Anpassung.

Die Fragen über die Übertragung bzw. Vererbung geistiger und körperlicher Eigenschaften und Fähigkeiten von den Eltern auf ihre Nachkommen, das Wesen des Vererbungsprinzips, über die Gesetze der Vererbungsweise, ihre atavistischen Rückschläge usw. gehören unstreitig zu den interessantesten Problemen auf allen Forschungsgebieten in der ganzen Biologie.

Die unbestreitbare Tatsache, das bei der Zeugung zwei einzige Zellen, die Eizelle und das Spermatozoon es sind, die durch ihre Vereinigung zur Entwicklung eines komplizierten Organismus führen, dem nicht nur alle Merkmale der Art, sondern zudem noch spezielle individuelle Charaktereigenschaften der Eltern zukommen, hat zu den scharfsinnigsten und minutiösesten Untersuchungen Anlaß gegeben und zu zahlreichen Theorien geführt.

Auch hierin glauben wir durch unsere kausalanalytischen Formuntersuchungen zu vereinfachten Vorstellungen gelangt zu sein, indem wir neben den nackten Tatsachen der Vererbung auch den mechanisch-dynamischen Einfluß des Behälters auf die Formentwicklung des befruchteten Eies als wesentlichen Faktor für die Gestaltung der Frucht mit zur Geltung kommen lassen.

Auch scheint mir die Aufstellung des Begriffes eines „spezifischen Artprotoplasmas“ (P) und die prozentuale Ausscheidung seiner drei Komponenten n, p, und s, sowie der Hinweis auf ihre verschiedene Reaktionsfähigkeit den drei Hauptgruppen der Energieformen gegenüber das Studium dieser Vererbungsfragen und die Lösung der an und für sich höchst schwierigen Probleme nur günstig beeinflussen zu können. Sie haben wenigstens das Gute, den Gesichtspunkt erweitert zu haben und vor einer weitern einseitig mikroskopisch oder chemisch geführten Behandlung des Stoffes zu warnen.

In dem neuen Begriff „spezifisches Artprotoplasma“ ist nicht nur die Möglichkeit, sondern sogar die Notwendigkeit einer Fortpflanzung der gesamten Artvalenz durch die beiden Keimzellen schon enthalten. Die Organisation des Protoplasmas ist ja für eine bestimmte Spezies physikalisch wie chemisch bis zu einer bestimmten Evolutions-

höhe herangezüchtet. Jede Zelle des Organismus ist daher, auch wenn sie durch spezifische Reize von Seiten ihrer Umgebung noch so modifiziert erscheint, teilhaftig dieser Gesamtvalenz, welche dem Art-*P* zukommt. So auch die Keimzellen, die wiederum nichts anderes als spezifisch modifizierte Partikelchen dieses Art-*P* sind.

Was speziell die Eizelle anbetrifft, so reagiert auch sie zunächst nur auf einen bestimmten Reiz, der von der Samenzelle derselben Art ausgeht. Ich lasse es dabei völlig freigestellt, ob dieser Reiz beim Befruchtungsprozeß zunächst rein chemischer oder rein mechanischer Natur sei, oder ob beide Energieformen zugleich auf die Eizelle reizend einwirken. Das auslösende Moment, das zur Entwicklung notwendig ist, kann, theoretisch genommen ebenso gut von der Pendelbewegung des Samenfadens, wie von einer bestimmten chemischen Komponente (Chromatin) ausgehen, d. h. vom mechanischen wie vom chemischen Reiz. Für mich spricht mehr dafür, daß auch hier der mechanische Faktor dem chemischen mindestens als gleichwertig angesehen werden dürfte.

Die ersten Erscheinungen, die von den hervorragendsten Forschern, wie O. HERTWIG und andern, als Folgen dieser spezifischen Reizung an Echinodermeneiern beobachtet werden, sind Kanal-Strahlenbildung im Protoplasma, also Scheidung von *p* und *s*.

Schon diese ersten Erscheinungen der stattgefundenen Eifurchung sind als differenzierte Bewegungserscheinungen aufzufassen, deren Intensität und Extensität von der Differenz im Bewegungsvermögen der Moleküle von *p* und *s*, sowie vom prozentualen Gehalt des Art-*P* an diesen Bestandteilen (spez. Art-*P*) abhängen.

Erst in zweiter Linie wird die Folge des Kopulationsreizes an der nukleoiden Substanz (*n*), am Spermakern und Eikern sichtbar. Beim Hühnerei hinwiederum schließt sich der weitere Furchungsprozeß nicht unmittelbar an den Kopulationsprozeß an; es bedarf hier zur Weiterentwicklung zunächst noch der Zufuhr einer bestimmten Menge von temporär genau dosierter Wärmeenergie.

So besitzt die Eizelle einer jeden Art nicht nur bestimmte chemisch-physikalische Organisation ihres Art-*P*, sondern auch ihren spezifischen Art-Reiz, der sie allein zur Entfaltung ihrer innern Kräfte bringt. Die Eizelle kann daher nur durch einen Samenfaden der gleichen Art befruchtet, d. h. zur organisatorischen Weiterformierung und Entwicklung angeregt werden.

Ist dieser Auslösungsakt erfolgt, so werden dadurch ein chemischer Spaltungsprozeß und ein Kopulationsprozeß zu gleicher Zeit angefacht, indem beide zur Umsetzung potentieller in aktive Energie und weiterhin zum chemischen Aufbau bzw. mechanisch-morphologischen Differenzierung führen durch vermehrte Zuleitung vom mütterlichen Nahrungssaft.

Damit scheint mir das „Leben" gewonnen zu sein. Die weitern Entwicklungsphasen müssen sich nach den nötigen äußern bildenden Faktoren (Wärme, Druck, mütterliches Artblut usw.) in ganz bestimmter Reihenfolge folgen — Aktion auf Aktion, Reaktion auf Reaktion —, wie sie in der Organisations- und Entwicklungsgeschichte des Art-*P* vorgezeichnet sind. Eine Reaktion kann nicht antezedierend vor die andere treten, denn sie ist ja nur die notwendige Folge dieser letztern, und zwar in gleicher Weise in der mechano-dynamischen, wie in der chemischen Entwicklungsreihe der Substanzorganisation.

Eltern und Kind machen also nacheinander den gleichen Entwicklungsgang durch, und da sie aus der gleichen Grundmaterie zusammengesetzt sind, ist es da noch verwunderlich, wenn das Kind die Artmerkmale und Eigenschaften seiner Eltern bekommt? —

Die Übertragung der generellen und individuellen Charaktereigenschaften der Eltern auf die Nachkommen wäre also bedingt durch die spezi-

f sche Zusammensetzung und die Gesamtvalenz des Art-*P*, die auch in der spezifisch-modifizierten Organisation der Keimzellen zum Ausdruck kommen. Es scheint indes, daß man bei vielen Arten den formierenden Einfluß der intrauterinen Dynamik auf die Gestaltbildung der keimenden Frucht viel zu wenig gewürdigt hat, wie wir dies speziell bei der Spezies homo noch sehen werden.

Allein diese innere Dynamik wird ihrerseits wieder bedingt durch die Zusammensetzung und Organisation des spezifischen Art-*P*, durch die morphologische Gestaltung des mütterlichen Organismus.

Im Stadium der Sprossung ist nämlich das Wachstum der Frucht ebenso sehr — jedoch erst nur indirekt — abhängig von den äußern Einflüssen, wie im spätern Stadium des individuellen Seins. Im erstern gehen sie nämlich noch vom mütterlichen Organismus aus und bestehen in der regelmäßigen Zufuhr des mütterlichen Blutes, von Wärme und in der Regelung der Form durch die innern Druckverhältnisse des Fruchthalters. Vom Standpunkt des Eies aus gesehen sind sie bereits als „äußere Einflüsse" zu bezeichnen.

Somit sind auch die äußern Faktoren im Sprossungsstadium von wesentlichem, mitbestimmendem Einfluß auf die spezifische Artgestaltung der Frucht, wenn auch diese „Sprossung" noch im Innern des mütterlichen Organismus vor sich geht. Da die Frucht bis zum Moment der Geburt noch keine „innere Belastung" kennt, betrachte ich es als geboten, auch die ganze Eibildung im Zusammenhang mit dem mütterlichen Organismus als Einheit aufzufassen, und zwar noch als eine Teilerscheinung des mütterlichen Leibes, indem ich diese Phase der Entwicklung noch als „innere Sprossung" bezeichne. In diesem Stadium ist nämlich die ganze Frucht unbestreitbar noch ein Glied des mütterlichen Organismus, durch Abspaltung und Reimplantation nach erfolgter Befruchtung entstanden.

Das ändert sich mit einem Schlag, gleich wie bei der reinen Sprossung, so auch bei der Lösung der Plazenta durch die Trennung des sprossenden Eies vom mütterlichen Individuum bei der Geburt.

Das neue animale Individuum erhält zu der äußern Belastung, die nun auf sein eigenes Konto fällt, mit einem Male auch die innere durch Eindringen von Atmungsluft in die zuvor komprimiert gewesenen Lungen. Nach zivilrechtlicher und gerichtlich-medizinischer Auffassung bezeichnet man diesen Akt auch sehr richtig als den Beginn des Lebens, weil sein Ausbleiben in der Tat für den Organismus gleichbedeutend ist mit der Unfähigkeit zu leben: Der Körper bleibt in diesem Falle tot. Obgleich er sonst vielleicht in allen Stücken lebensfähig war, hat es ihm aus irgend einem Grunde an dem nötigen Anpassungsvermögen an die neue Situation gefehlt, die durch die Lostrennung vom mütterlichen Organismus und das individuelle Sein in der Luftatmosphäre geschaffen wurde. Die Respirationsbewegungen sind ausgeblieben und damit jener periodische Spannungsaustausch zwischen Innenkraft und elastischer Körperwandung, den man mit dem Ausdruck „Respirationswellen" zu bezeichnen pflegt.

So muß der erste Atemzug des Kindes schon als eine Anpassungserscheinung des Organismus an die neuen Lebensbedingungen aufgefaßt werden. Was man nun aber weiterhin unter funktioneller, unter individueller Anpassung des Organismus im allgemeinen zu verstehen habe, darüber gehen die Ansichten heute noch weit auseinander.

Vor allem muß man hierin mit aller Kraft der ältern teleologischen, um nicht zu sagen theologischen Auffassung entgegentreten, welche die Zweckmäßigkeit des Körperbaues stets in den Vordergrund gestellt und in allem nur eine planmäßige Vorausbestimmung

als die schöpferische Triebfeder anerkannt hat. Diese Darstellungsweise, so viel Bestrickendes sie auch für den Laien gehabt haben mochte, sie ist stets unwissenschaftlich gewesen. Sie hat auch die Entwicklung der biologischen Forschung Jahrzehnte lang vielfach höchst ungünstig und hemmend beeinflußt.

Sieht man aber näher zu, so ist indes nicht erst der erste Atemzug des Neugeborenen eine Anpassungserscheinung; vielmehr muß schon die ganze intrauterine Entwicklung der Frucht als ein Anpassen des Keimlings an die Raumverhältnisse des Eies und des mütterlichen Fruchthälters aufgefaßt werden. Das Anpassungsvermögen des Organismus zeigt sich schon in seinem Sprossungsstadium wenigstens ebenso groß, wie später im extrauterinen Stadium des individuellen Seins. Je länger die Schwangerschaftszeit der Art aber dauert, je länger also, vom Zeitpunkt der Befruchtung ab gerechnet, der Ausgleich zwischen der Frucht und der mütterlichen Außenwelt noch stattfindet, um so länger wird die Übertragung der Artmerkmale und der individuellen Eigenschaften mütterlicherseits überwacht, um so vollständiger werden also auch die Anpassungsvorgänge im neuen Organismus durchgeführt. Die Vererbungsprozesse der Artmerkmale sind daher, wenigstens so weit sie auf mechanischer Formbildung beruhen, bereits als funktionelle Anpassungsvorgänge zu bezeichnen. Funktionäre sind bei diesem Vorgang einerseits der osmotische Druck des Eies bzw. der Frucht und anderseits die Spannkraft des mütterlichen Uterus oder der Eischale. Trotzdem ist man genötigt, — wenn man auch schon hier einen Dualismus von Formbildung und Formhaltung aufrecht erhalten will, aufrecht erhalten muß, — die Formbildung zweifelsohne in das Sprossungsstadium zu verlegen, also in die eigentliche Zeit der Vererbungsprozesse. Für die Formerhaltung bliebe somit nur die Zeit nach der Geburt des Individuums übrig. Kann diese Auffassung richtig sein? — —

VERWORN (l. c. S. 212) nimmt scheinbar genau den entgegengesetzten Standpunkt ein, wenn er von dem „formerhaltenden Moment der Vererbung und dem formverändernden Moment der Anpassung" spricht. Er geht dabei aber von andern Begriffen aus. Unter dem formerhaltenden Moment der Vererbung versteht er die Übertragung der Artform von Generation zu Generation, also den Vererbungsprozeß selbst. Was der Autor im Grunde unter dem „formverändernden Moment der Anpassung an veränderte äußere Verhältnisse" versteht, ist mir nicht ganz klar geworden. Er spricht (S. 476) wohl mit HERING von der „innern Selbststeuerung des Stoffwechsels der lebendigen Substanz", die nur auf das Stoffwechselgleichgewicht Bezug hat. Sollte eine solche Selbststeuerung nicht auch in bezug auf Form- und Kraftwechsel in der organischen Substanz vorhanden sein?! —

Indem wir sehen, daß die Formbildung des Fötus in utero ganz wesentlich vom Uterindruck beeinflußt wird, wenn wir schon den ersten Atemzug des Neugeborenen als eine Anpassung an die veränderten äußern Verhältnisse bezeichnen, und wenn man endlich die Abrundung des Beckenendes, ja selbst die Aufrichtung der Rumpfachse in letzter Linie als Folge innerer Energetik hinstellt, so muß auch der alte Begriff der „Anpassung" fallen. Es ist dies auch nicht zu bedauern, denn ein ganz kleines zweckbestimmendes Anhängselchen blieb ihm stets unbenommen.

Wenn auch nicht im intrauterinen, so doch im extrauterinen Leben des Individuums laufen also formbildende und formerhaltende Momente stets nebeneinander und führen uns zu anderen Begriffen, als zu denjenigen, wie sie VERWORN unter derselben Bezeichnung aufstellt. Wollte man aber an der Anschauung dieses Autors festhalten, so könnte dies nur unter Vertauschung der Attribute „formerhaltend" und „formbildend" geschehen; denn sicherlich ist, vom Standpunkt des einzelnen Individuums aus gesehen — und nur dieser kann

hier in Betracht fallen — die „Formbildung" in das frühere Sprossungsstadium zu verlegen. Es ist dieser Umtausch schon logischerweise am Platz, da nicht wohl von der Formerhaltung eines Gegenstandes gesprochen werden kann zu einer Zeit, wo seine Form noch nicht gebildet ist. **Der Formerhaltung muß die Formbildung logischerweise vorausgehen.** L. S. 68.

Sobald aber formbildende und formerhaltende Momente vom Zeitpunkt der Befruchtung und der Geburt ab im Wachstum des Individuums nebeneinander herlaufen, so kann dies nur in einer geordneten Weise geschehen, wobei das eine Moment zügelnd auf das andere einwirkt. Mit andern Worten: Zu dem einen Wert des Einen gehört auch ein bestimmter Wert des Andern. So lautet die Definition der „mathematischen Funktion".

Unter physikalischer Funktion hat man also gleichlautend zu verstehen jede durch ein bestimmtes Abhängigkeitsverhältnis geregelte Äußerung irgend einer Kraft. Gemessen wird die Arbeitsleistung dieser Kraft durch den in der Zeiteinheit durchlaufenden Weg oder am Hebelarm der Maschine durch Überwindung des Widerstandes, der ihr entgegensteht (Moment der Last).

Beide Momente, Kraft und Last, können oft miteinander verwechselt bzw. vertauscht werden, je nach dem subjektiven Standpunkt des Beurteilers. Eine solche Verwechslung bleibt indes ausgeschlossen, sobald man nur den Drehpunkt des einarmigen Hebels kennt, so wie die Angriffspunkte der beiden Kräfte, da die „Kraft" stets näher dem erstern angreift als die „Last".

Mit dem ersten Atemzug nach der Geburt also beginnt der doppelseitige Spannungsausgleich des tierischen Organismus! Das animale Leben erwacht. Wo ist das Kraftmoment, wo das Lastmoment zu suchen? Hierüber bringt uns die „Ballontheorie" (s. u.) vollständig neue Anschauungen, für deren Richtigkeit mir wieder die Kausalanalyse der Form des Menschen genügend Garantie zu bieten scheint.

Nur eines wollen wir an dieser Stelle vorausschickend noch festhalten: Die intrauterin erworbene Spindelform des Rumpfes wird beim Vierfüßler auch im extrauterinen Leben beibehalten und ausgebaut durch innere Kräfte. Das geht unzweideutig aus den Umwandlungen hervor, welche die typische Spindelform später beim Menschen durchmacht, wo die beiden versteiften Quergurten-Segmente: Brustkorb und Beckenring durch die innere Äro- und Hydrodynamik ausgeweitet werden. Diese ausweitenden, formbildenden Kräfte wirken am Hebelarm der Kraft, während ihr als äußere Belastung die Schwerkraft am Hebelarm der Last entgegensteht. Die „Ständertheorie" hat bisher den entgegengesetzten Standpunkt eingenommen. Sie hat den Körper rein statisch als homogene Statue und nicht als Ballon beurteilt.

d) Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel.

Da theoretisch im Wachstum eines Organismus in jedem Zeitmoment ein Gleichgewichtszustand herrschen muß zwischen innerer und äußerer Kraft, bzw. zwischen Kraft und Last, so ist mit Fug und Recht anzunehmen, daß auch in den Form- und Kraftwechselvorgängen des Organismus irgendeine Regulationsvorrichtung bestehe, eine Art innerer Selbststeuerung, wie sie HERING und VERWORN für den „Stoffwechsel" der lebenden Substanz angenommen haben.

Wenn ich in diesem Kapitel auf das Verhältnis der innern und äußern Kraft bzw. innerer und äußerer Belastung zu sprechen komme, so will ich zuvor nochmals nachdrücklichst hervorheben, daß der Begriff der innern Belastung sich ja nicht etwa deckt mit

dem, was wir als Schwergewicht der Nahrung bezeichnen. Es ist vielmehr die Summe aller dynamischen Kräfte darunter zu verstehen, welche von innen her auf die Rumpfwand des lebenden Organismus einwirken. Die zunächst noch unversteifte organische Substanz zieht sich um die Kontenta herum zusammen vermöge ihrer Elastizität, bis Gleichgewicht geschaffen ist zwischen der expandierenden und der Schwerkraft des Inhaltes einerseits und der elastischen Ballonhülle anderseits (s. Exp. II—IV, S. 72). Die Grundform dieses Ballons ist die Kugel gewesen, jene einfachste exakte mathematische Form, die bekanntlich im Verhältnis zur Masse den geringsten Raum beansprucht. Einzig mit Angabe der Radiusgröße sind Durchmesser, Umfang, Oberfläche, Volumen oder Inhalt dieses einfachsten aller stereometrischen Körper bekannt dank der Kenntnis der konstanten Verhältniszahl π, welche zwischen dem Durchmesser und dem Projektionsbild der Kugel, dem Kreis- und Kugelumfang besteht.

Der Umfang der Kugel strebt nach allen drei Seiten des Raumes hin in gleicher Weise, solange die Kugel nur eine ideelle, für sich gedachte Form, und nicht als materielle Kugel in Korrelation gesetzt ist zu einem andern Körper, der gegen sie einen Zug oder Druck ausübt. Ein inneres Wachstum der Kugelform (durch vermehrten osmotischen Druck) vollzieht sich also in ersterm Falle nach allen Richtungen des Raumes hin gleichmäßig unter gleichmäßiger exzentrischer Vergrößerung des Radius.

Erfolgen aber äußerer Druck und innerer Gegendruck nur in der einen Raumebene, so entwickelt sich das Wachstum in der Richtung des geringern Widerstandes, d. h. in der Richtung der dritten Raumachse. Die Kugelform geht in die Linsenform, oder wenn auch die zweite Achse gedrückt wird in die Form der Ellipse oder Spindel über.

So lange die Masse elastisch bleibt, kehrt sie nach Aufhören des Druckes in die Kugelform zurück. Das ist nicht mehr möglich, sobald sie sich in irgendeiner Richtung versteift hat. Dann bleibt die Linsen- oder auch die Spindelform bestehen und für die Berechnung der weitern Druckverhältnisse kommt bereits das Verhältnis ihrer Längsachse zu den Querachsen in Frage, sowie die Widerstandskraft der erfolgten Verstärkungsanlage.

Diese letztere aber ist bei der organischen Substanz abhängig von der chemisch-physikalischen Zusammensetzung der protoplamatischen Masse, speziell ihres Bestandteiles *p*, so wie auch von den quantitativen Verhältnissen von *n*, *p* und *s*, und der Vererbung soundso vieler im Art-*P* erworbener Positionen.

Damit kommen wir noch einmal auf die quantitative und qualitative Beschaffenheit des Art-*P* zurück. Ohne die Bedeutung der Histologie irgendwie schmälern und die eminenten Erfolge ihrer Forschung nur im geringsten mißachten zu wollen, so halte ich doch dafür, hier vorerst möglichst davon abzusehen, um bei der Betrachtung der Form das Ganze nicht aus dem Auge zu verlieren.

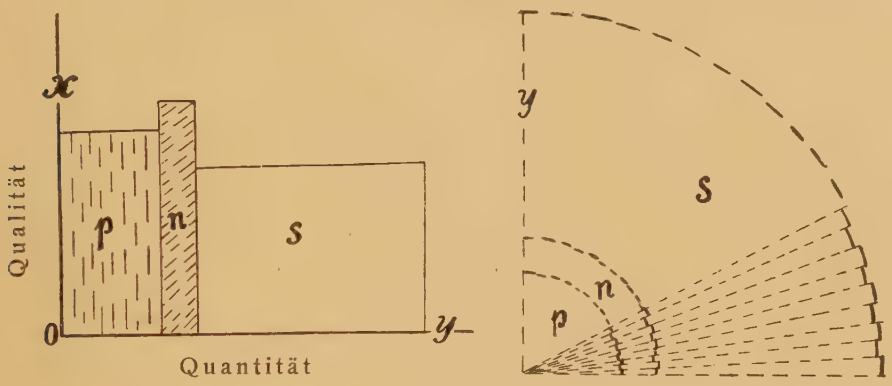
Wir haben schon oben in Abschnitt I, 2 über das Protoplasma das prozentuale Verhältnis der drei Bestandteile desselben figürlich dargestellt. Schon dieses quantitative Verhältnis von *n*, *p* und *s* kann sich von Art zu Art sehr verschieden gestalten. Es kann dasselbe auch individuell innerhalb gewisser Schranken in der Art selber noch wechselnd sein, ganz abgesehen vom Widerstandswert jeder Teilsubstanz.

Jede der drei Komponenten eines Art-*P* besitzt nun aber, sowohl in physikalischer wie in chemischer Hinsicht, vor den beiden andern bevorzugte Eigenschaften und Fähigkeiten, die sich vor allem aus kundgeben in leichterer Umsetzbarkeit der Atome größerer Beweglichkeit der Moleküle (*s*), bevorzugter Leitungsfähigkeit für galvanisch-elektrische Ströme und Reize, Bindung von Ionen (*n*) oder dann in größerer Plastizität (*p*) der Substanz usw.

Damit ist selbstverständlich die chemische und physikalische Qualifikation der drei Komponenten von *P* noch lange nicht erschöpft, sondern erst nur angedeutet, daß die gegenseitige qualitative Wertigkeit, die relative Valenz der einzelnen Komponenten, je nach der Art wechselnd, eine sehr verschiedene ist. Trotz dieser verschiedenen Dotierung aber ist keine von ihnen souverän; jede erhält ihre Handlungsfähigkeit wie ein Prokurist nur in Verbindung mit andern.

Wir können den Vergleich der organischen Substanz mit der kaufmännischen Institution noch weiter ziehen und sagen:

Für ein spezielles Art-*P* ist seine Gesamtvalenz innerhalb gewisser Grenzen bestimmt. Sie ist zu vergleichen mit dem Gesamtvermögen eines Geschäftes. Auf welche Weise diese Mittel auf die einzelnen Konti und Geschäftsbranchen verteilt werden, ist für den Geschäftsabschluß gleichgültig; das Gesamtvermögen bleibt dasselbe. Für die Leistungsfähigkeit des Geschäftes jedoch, wie für sein kommerzielles An-



A. Figur 110. *B.*

Schematische Darstellung der Zusammensetzung eines Art-*P*.

sehen nach außen hin, ist die Gruppierung der Finanzkräfte keineswegs gleichgültig. In funktioneller Bedeutung entspricht *n* der technischen und kommerziellen Leitung, *p* der baulichen und maschinellen Einrichtung des Betriebes und *s* dem beweglichen Umsatzkapital und Warenkonto. — Aber auch der Verteilung und Umgruppierung der vorhandenen Finanzkräfte sind gewisse natürliche und gesetzmäßig bestimmte Schranken gesetzt, wenn die Art des Geschäftes nicht darunter leiden und zugrunde gehen soll.

Es ist daher auch in seiner Anlage das Art-*P* nicht nur in bezug auf quantitative, sondern auch qualitative Zusammensetzung an bestimmte Grenzen gebunden, d. h. auf eine Gewichts- oder Volumeneinheit berechnet ist seine Gesamtvalenz innerhalb gewisser individueller Schwankungen für die Art konstant. Graphisch läßt sich diese Gesamtvalenz eines Art-*P* veranschaulichen, indem wir den einen Faktor (Qualität) auf die Ordinate *x*, den anderen (Quantität) auf die Abszisse *y* von *o* aus abtragen. — Freilich wird es vorderhand noch nicht möglich sein, die Qualität von *p*, *n* und *s* eines bestimmten Art-*P* genauer zu bestimmen. Wir können heute höchstens vergleichsweise andern Art-*P* gegenüber approximative Schätzungen aufstellen, während man mit Leichtigkeit das quantitative Verhältnis der drei Komponenten feststellen und auf der *y*-Achse auftragen kann.

Anderseits aber haben wir oben die ganze Art als eine Einheit aufgefaßt, die aus so und so viel Individuen besteht. Graphisch stellen wir diese Einheit durch eine Kreisfläche

dar, die wir uns in so viele kleine und kleinste Sektoren zerlegt denken, daß ihre Zahl der Anzahl der gegenwärtig lebenden Individuen der Art entspricht. Als Kreisradius ergibt sich für die Art die Abszisse y (Fig. 110 A) mit den mutmaßlichen quantitativen Verhältniszahlen von p, n und s.

Auf dieser Zeichnung (Fig. 110 B) kommen nun auch die individuellen Schwankungen zur Darstellung, selbstverständlich in schematisch übertriebener Manier. Wird das Verhältnis zweier Komponenten zueinander durch natürliche oder künstliche Züchtung bei einer größern Zahl von Individuen in gleichem Sinne quantitativ oder qualitativ verschoben, so kann diese Kompositionsumgestaltung auf die Fortpflanzung der Arteigenschaften bestimmend einwirken, indem die bereits bei einer größern Anzahl von Individuen auftretenden Charaktereigenschaften als neues Merkmal übertragen werden können. Dasselbe läßt sich auch für das Qualitätsverhältnis der drei Art-P-Bestandteile in Figur 110 A graphisch ausdrücken.

Exp. XI. *Experiment XI.*

Setzen wir nun die beiden Figuren A und B um die OX-Achse auf einer Drehscheibe in rasche Rotation, so erhalten wir bei A — von vorn gesehen — das schematische Gesamtbild der qualitativen, bei B — von oben gesehen — dasjenige der quantitativen Wertverhältnisse des Art-P der ganzen lebenden Generation dieser Art.

Ob mit der Entstehung eines neuen Merkmals bereits auch die Entstehung einer neuen Art verbunden sei, oder ob wir die Veränderung der Form oder Formgruppe nur als klassifikatorisches Kennzeichen einer Unterart, Varietät oder Rasse aufzufassen haben, hängt einerseits von dem Kriterium des Artbegriffes und anderseits von der Bedeutung des übertragenen Merkmals selber ab. Es kann hier nicht in unserer Aufgabe liegen, näher auf die Begrenzung des Artbegriffes einzugehen. Erwähnt sei nur, daß nach neuern Autoren zum Artbegriff zwei Kriterien gehören, nämlich:

1. die scharf morphologische Unterscheidbarkeit, und vor allem
2. die physiologische Fortpflanzungsunfähigkeit mit andern Arten (MARTIN).

Die unzähligen Kreuzungsversuche auf allen Gebieten botanischer und zoologischer künstlicher Züchtung geben auf all diese Fragen hinreichend Bescheid.

Von dem Begriff der Einheit des Artprotoplasmas ausgehend, fordern wir als Kriterium für die Entstehung einer neuen Art theoretisch das Vorhandensein eines nachweisbar anders beschaffenen Art-P.

Dieses Kriterium deckt sich ohne weiteres mit dem zweiten von MARTIN aufgestellten Postulat: Physiologische Fortpflanzungsunmöglichkeit zwischen Individuum der Mutter- und der Tochterart.

Weniger leicht ist der Begriff der scharf morphologischen Unterscheidbarkeit zu definieren, da rezente Formen in allen Stadien der Ausprägung und bei verschiedenen funktionellen Organen zur Beobachtung kommen, deren Bedeutung bekanntlich von den Autoren sehr verschieden gewertet wird. Es ist daher auch hier wieder tunlichst stets das Ganze im Auge zu behalten; Differenzen in der Anschauung aber sind trotzdem kaum zu vermeiden.

In jedem Falle ist die morphologische Veränderung eines Organs für den ganzen Organismus gleichbedeutend mit der Vervollkommnung einer technischen Maschinenanlage, wobei unter sonst sich gleichbleibenden äußern Verhältnissen für den Organismus eine ersprießliche Mehrleistung erzielt werden kann. Sie vollzieht sich ja mit eigenen Mitteln in der organischen Substanz als funktionelle Verbesserung im Austausch der Energien mit der Außenwelt durch Selbstorganisation bzw. weitergehende Arbeitsteilung der Funkionäre der lebendigen Substanz.

Aber der Austausch der Energien zwischen dem tierischen Organismus und der Außenwelt ist ja ein doppelter (innerer und äußerer Spannungsausgleich). Was die äußere Belastung durch Luft und Erddruck anbetrifft, so muß sie für alle auf dem Festlande lebenden Tiere so ziemlich die gleiche sein.

Anders ist das mit der aufgenommenen Nahrung der Fall. Hier fällt nicht nur die außerordentliche quantitativ verschiedene Volum- und Gewichtsmenge der aufgenommenen Nahrung in Betracht, sondern ebensosehr auch die Menge der damit aufgenommenen Energien. Man vergleiche diesbezüglich nur die Nahrung eines Pflanzenfressers quantitativ und qualitativ mit derjenigen eines Karnivoren und damit die diesbezüglichen Einrichtungen, den Digestionsapparat mit allen Drüsen. Zugleich ist dabei auch die Zeit ins Auge zu fassen, welche die Verdauung benötigt usw. Also auch das Zeitmaß darf bei der Aufzählung der Relationen im funktionellen Ausgleich zwischen der tierischen Substanz und der innern und äußern Außenwelt nicht vergessen bleiben (Relativitätsprinzip).

Nach unserer Auffassung*) haben wir jede Organbildung als „Maschine" bezeichnet, an welcher zur Verfügung stehende Kräfte, seien es chemische, mechanische oder Reizenergien, umgeformt oder in zweckmäßiger Weise zur Arbeitsleistung verwendet werden.

Je nach Anlage und Ausdehnung einer neu installierten Maschine werden in einem Etablissement unter Umständen bauliche Veränderungen und Verstärkungen nötig. Auch hierfür sorgt die organische Körpersubstanz durch die nötigen Verstärkungen ihrer Wandung infolge Selbstorganisation und Formbildung mittels innerer Verstärkung, soweit dies die spezifische Beschaffenheit des Art-*P* zuläßt.

Mit der Spezifität des Art-*P* wird sinngemäß auch diejenige der Organanlage der Art vererbt. **Das Neugeborne bringt die spezifischen Organanlagen seiner Art zur Welt.** Aber viele von diesen Organanlagen werden erst im spätern Leben durch veränderte funktionelle Betätigung vollkommener entwickelt, ausgebaut, in Lage und Gestaltung umgebaut; oder sie gehen auch, weil durch die neuen Verhältnisse obsolet geworden, obliterierend zugrunde (Inaktivitätsatrophie). **L. S. 69.**

Daß durch diese innere funktionelle Ausgestaltung auch die Bildung der äußern Form des Organismus, ihre Proportionen usw. noch wesentlich beeinflußt werden, ist gewiß nicht von der Hand zu weisen. Den unwiderlegbaren Beweis hierfür liefert die Abrundung des Beckenendes beim Menschen durch die Lage- und Formveränderung der Urinblase (s. unten III, 4 und Erster Teil, Exp. VII, S. 95).

Im Stadium der Sprossung hat die Frucht nur indirekt, d. h. durch Vermittlung des mütterlichen Organismus mit der Außenwelt verkehrt. Ist er ja doch zunächst noch ein Teil des mütterlichen Organismus. Trotzdem ist seine Außenwelt die Mutter gewesen, als deren integrierender Bestandteil zur Schwangerschaftszeit die sprossende Frucht zu betrachten ist. Mit der Geburt aber wird die Frucht buchstäblich „an die Luft gesetzt", die mit ihrem Eindringen in das Körperinnere den Beginn seines individuellen Seins inauguriert.

Fassen wir den Vorgang bei der Geburt, der den Übergang vom Sprossungsstadium zum Stadium des individuellen Seins bezeichnet, physikalisch noch etwas näher ins Auge!

Wir müssen dabei zunächst nochmals konstatieren, daß im extrauterinen Leben der Atmosphärendruck zugleich mit dem Erddruck auf der Ballonform des mütterlichen Körpers lastet, und daß dieser Ballon samt seinem Inhalt sich erst mit der Außenwelt ins statische

*) Arch. f. Anthrop. in Bd. XVII zum Begriff Formbildung und Formerhaltung. — Ballon- oder Ständertheorie? 1918/19.

Gleichgewicht zu setzen hat. Bezeichnet man den äußern Atmosphärendruck mit A, den Elastizitätskoeffizienten der organischen Substanz mit o, den Innendruck des Ballons mit i, so ist in Gleichgewichtslage

$$o \cdot i = A.$$

Für das Sprossungsstadium, wo noch die Frucht (o_f) als ein Teil des mütterlichen Organismus (o_m) anzusehen ist, der auch seine Außenwelt bedeutet, lautet die Formel, da für sie noch der fremde Innendruck fehlt:

$$o_f = o_m.$$

Wird nun dieses o_f bei der Reife aus dem mütterlichen Uterus ausgestoßen und gelangt direkt unter den äußern Atmosphärendruck, so fehlt ihm der notwendige Innendruck i zur Ausgleichung, denn es ist

$$o_f < A;$$

d. h. das Neugeborne — ein Art-*P*-Klümpchen — würde vom lastenden Atmosphärendruck „erdrückt", wenn nicht, seiner Organisationsanlage gemäß, Atmosphärenluft in sein Inneres einströmen und die Widerstandskraft des neuen Organismus verstärken helfen würde, bis mechanistisches Gleichgewicht hergestellt ist.

Das Selbststeuerungsprinzip in Form- und Kraftwechsel des spezifischen Artprotoplasmas liegt also darin, daß sich seine maschinelle Organisation so gestaltet, daß dem Außendruck das Produkt aus Innendruck + (elastischer) Widerstandskraft des Art-*P* entspricht. In der Formel $o \cdot i = A$ ist A als Atmosphärendruck eine berechenbare Größe, i ist ein variabler Teil desselben, jedenfalls aber ist $i < A$. Je kleiner nun i ist, um so größer muß die innere Festigkeit von o sein, damit dieses o dem äußern Drucke gewachsen ist und demselben nicht nachgibt. Nun ist aber dieses o von Art zu Art wechselnd; denn unter o haben wir ja die organische Substanz, den Organismus selber, zu verstehen mit all seinen selbstgeschaffenen Hilfsmitteln; o entspricht also in allen Teilen physikalisch dem Art-*P*.

Wir haben oben in dem Abschnitt, wo wir das Leben im zusammengesetzten Organismus behandelt haben, von der Bedeutung der innern Struktur der Körper im allgemeinen, von derjenigen der organischen Körper im speziellen gesprochen und dabei auf die mannigfaltigen mechanischen Reizerscheinungen hingewiesen, die in einem so komplizierten Gemisch, wie es das tierische Protoplasma ist, notwendigerweise auftreten müssen. Im Vordergrund stehen hier die ständig wirkende tellurische Kraft, die Anziehungskraft unseres Planeten auf die organische Substanz und die konsekutive Formveränderung dieser Substanz als Reaktion auf diesen mechanischen äußern Reiz.

Die Form des tierischen Organismus, der nun aber auch seine „innere Außenwelt" hat, ist also einmal das Ergebnis des Kräfteaustausches der organischen Substanz o mit der Innenwelt i (innere Gleichgewichtslage). Und nach dieser einmal erfolgten Formbildung, welche dem Füllungsakt eines Ballons entspricht, tritt der Organismus zugleich in Korrelation zu der Mutter Erde und ihrer luftförmigen Hülle, die nochmals verändernd auf die Form einwirken (Formerhaltung, äußere Gleichgewichtslage).

Wenn nun auch schon logischerweise der Formerhaltung die Formbildung vorausgehen muß, so erfolgt doch der äußere und der innere Spannungsausgleich in einem Zeitmoment gleichzeitig durch Anpassung der elastischen organischen Substanz o an i wie an A. Nach obiger Formel wäre also:

$$o = \frac{A}{i} = \frac{\text{Außendruck}}{\text{Innendruck}} = \frac{\text{Formerhaltung}}{\text{Formbildung}}.$$

Da die organische Substanz *o* in ihrer Zusammensetzung und Valenz von Art zu Art wechselt (spezif. Art-*P*), so ist auch der Quotient aus $\frac{A}{i} = o$ variabel je nach der Art; seine Größe bleibt jedoch geregelt durch eine Verhältniszahl, die mit wechselndem Quotienten ihre Größe selbstverständlich ebenfalls wechselt. Wir sagen also:

Die innere Festigkeit der organischen Substanz eines Artindividuums ist das Produkt des Elastizitätskoeffizienten des Art-*P* mit der inneren Belastung; beide zusammen stehen im statischen Gleichgewicht mit der äußern Belastung durch das Ausmaß der Hebelarme (L. S. 66). L. S. 70.

Für die Spezies „homo" haben wir also den Elastizitätskoeffizienten berechnet zu 1,2246. Die Berechnung ergab sich aus der Ermittlung des formbildenden (*M*-) und des statischen (*P*-) Kreises, deren konstantes Verhältnis ihrer Radien zueinander durch die geometrische Proportion

$$1 : \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ = 1 : 1{,}2246$$

fixiert ist.

Wir dürfen also in weiterer Bestätigung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie oder Kraft von ROBERT MAYER und HELMHOLZ dem Begriff der „innern Selbststeuerung des Stoffwechsels der lebendigen Substanz" (HERING) den weitern Begriff der *„innern Selbststeuerung des Form- und Kraftwechsels"* ergänzend hinzufügen.

Als letzter Begriff bliebe noch die Selbststeuerung im Reizwechsel für die letzte Energiegruppe nachzuweisen übrig. Dieser Nachweis mag dem Neuropsychologen überlassen bleiben.

e) Die Entstehung neuer Arten.

Sobald sich der Ausgleich eines mechanischen Kraftpaares an der lebendigen Substanz über ein längeres Zeitmoment hin erstreckt, oder mehrmals in gleichen Intervallen und in stets gleicher Richtung hin erfolgt, so macht sich also an der inhomogenen Masse als Reaktion eine organisatorische Veränderung bemerkbar durch Umlagerung der Moleküle. Ist diese Umlagerung bei einem Individuum eine bleibende („Instanz"), so bedeutet dies für die Masse einen bleibenden organisatorischen Gewinn.

Darauf beruht die funktionelle Anpassung der lebendigen Substanz an die von außen wirkende Kraft. Hört nach erfolgtem Ausgleich die mechanische Reizwirkung (Zug, Druck) vollständig auf, so kann die „Instanz" wieder verschwinden infolge des wechselnden Elastizitäts- und Plastizitätsvermögens der Substanz. Bei länger dauernder oder wiederholter Reizwirkung aber tritt die Reaktionserscheinung kräftiger hervor: die „Instanz" wird „inhaftiert". Wiederholen sich die nämlichen Reizerscheinungen in gleicher Weise an der lebendigen Substanz einer größern Anzahl von Individuen derselben Art, so ist die Reaktion des Art-*P* selbstverständlich überall die gleiche. Die „Instanz" wird zum Artmerkmal, zur „Position".

Auf die verschiedenartige und verschiedengradige Reaktionsfähigkeit der Moleküle des Protoplasmagemisches gegen die Reize der verschiedenen Energieformen haben wir seine Selbstorganisation zurückgeführt und glauben damit das Prinzip der Arbeitsteilung auch kausal erklärt zu haben.

Setzt man zum Vergleich zwei beliebige Art-*P*, die vielleicht in ihrer chemisch-physikalischen Zusammensetzung nur wenig voneinander differieren, denselben Reizmomenten aus, so führt notgedrungen schon diese geringe Differenz in der Zusammensetzuug der beiden — wenigstens teilweise — zu verschiedenartigen Reaktionen (Ausbrütung von Hühner- und Enteneiern durch ein und dieselbe Henne). Die weitere Gestaltung der protoplasma-

tischen Substanz der beiden Arten muß sich also naturgemäß eigenartig entwickeln. Es kommt bei beiden zu einer spezifisch arteigenen Organisation und Funktion, trotz der gleichen Zufuhr äußerer Energiemengen.

Führt aber in gleicher Weise eine nur geringe individuelle Abweichung von der Struktur des Art-*P* zu einer spezifisch abweichenden Instanz und wird diese Instanz auch durch erbliche Übertragung auf die Nachkommen weiter inhaftiert, so erhält diese, nunmehr nicht bloß individuelle Eigenschaft bereits den Charakter einer mehr oder weniger gesicherten „Position": Es entsteht eine Abart oder Varietät. Die Vermehrung der Zahl der so übertragenen Instanzen oder auch die Übertragung einer einzelnen, jedoch sehr stark dominierenden Instanz könnte selbst von einem einzelnen Individuum aus durch Vererbung dieser Eigenschaft zur Entstehung einer neuen Art führen. Doch können Instanzen selbst nach Generationen auch wieder verloren gehen, solange sie im Art-*P* nicht völlig inhaftiert und als Position gesichert sind, wobei als Kriterien für die Umgrenzung des Artbegriffs die oben genannten beiden Merkmale gelten:

1. morphologische Unterscheidbarkeit und
2. physiologische Fortpflanzungsunfähigkeit unter den Individuen.

Dieses Kriterium des Artbegriffs läßt sich nun noch schärfer fassen und wiedergeben durch die Bezeichnung: „Übertragbarkeit einer gesicherten Position".

Es läßt sich aber die Entstehung einer neuen Art oder Abart auch graphisch aus Fig. 110 B darstellen, wo jedes Individuum dieser Art seinen kleinen Kreissektor einnimmt. Hier sind auch die individuellen Schwankungen der quantitativen Zusammensetzung des Art-*P* schematisch zur Darstellung gelangt.

Setzt man nach Experiment XI diese Kreisfläche auf einer Rotationsscheibe um ihr Zentrum *O* in drehende Bewegung, so werden die einzelnen Individuen nicht mehr erkennbar; die kleinen individuellen Schwankungen der Qualitäten verschwinden ebenfalls, und man erhält nur das Bild einer Kreisfläche, welches den Radius *y* und das Verhältnis der drei Komponenten des Art-*P* erzeigt. Experiment XI gibt oben das optische Bild für die Gesamtheit der Art, die aus soundso viel individuellen Protoplasmawesen besteht, von denen sich alle in Bau und Funktion nur wenig vom Gesamttypus der Art entfernen.

Machen sich bei der Drehung der Kreisscheibe aber eine größere Anzahl von Individuen bemerkbar, die durch Inhaftierung ein und derselben morphologischen Unterscheidbarkeit eine ausgesprochene Quantitätsbereicherung in einer der drei Komponenten ihres Art-*P* erfahren haben, z. B. der *n*-Komponente, so wird dadurch der Komponent *n* auf der Abszisse merklich verlängert. Bei der Umdrehung der Kreisscheibe gewahrt man dann zwei Kreise, von denen der eine die Zusammensetzung des Art-*P* der ursprünglichen Art wiedergibt, während der andere die neue Art oder Abart darstellt mit vergrößertem *n*-Werte auf der Abszisse. Es ist — optisch darstellbar und erkennbar — zu einer neuen *P*-Qualität gekommen und damit zur Entstehung einer neuen Art durch Veränderung des Protoplasmagemisches.

f) Spezifitätsbegriff des Artprotoplasmas.

Die Erweiterung des Begriffes der Artspezifität vom Serum auf das Protoplasma, d. h. vom pars auf das totum, scheint nun schon vom Standpunkte der reinen Logik aus gerechtfertigt und geboten zu sein und dies um so mehr, als jener Teil — das Serum — stets mehr als die Hälfte des Volumgewichtes des Ganzen ausmacht.

Der Umstand, daß der Begriff einer Artspezifität zunächst nur für einen Teil des Protoplasmas, und zwar für den flüssigen Bestandteil desselben erkannt und aufgestellt worden, ist durch zwei Momente zu erklären.

Einmal ist es ja nur der flüssige Teil der Körpersubstanz, der, an keine einzelne Zelle, kein Gewebe gebunden, sondern als das flüssige Extrakt des ganzen individuell umgrenzten Protoplasmas erscheint und so zur Aufstellung des Spezifitätsbegriffes geführt hat, was nur durch die mühevollsten Untersuchungen und Vergleichungen der Sera auf allen Gebieten der Serologie und chemischen Biologie möglich geworden. Zum Vergleich stand sich dabei das Untersuchungsmaterial von verschiedenen Individuen derselben Art, wie auch dasjenige von Individuen anderer Arten in genügender Menge und Auswahl gegenüber. Dank dem unermüdlich entwickelten Eifer, der sich auf all diesen Gebieten der jüngsten Serumforschung in den letzten Jahrzehnten geltend gemacht hat, ist es möglich geworden, den Begriff der „Artspezifität des Serums" als Axiom zu proklamieren.

Dabei hat ein zweites Moment — um nicht zu sagen: ein glückliches Zusammentreffen — begünstigend mitgewirkt.

All die genannten Forschungen bewegen sich vorzugsweise auf chemischem Gebiet, indem sie sich mit der Zusammensetzung, dem Auf- und Abbau der Serumeiweißkörper beschäftigen.

Nach unserer Übersicht über die Einwirkung der verschiedenen Energieformen auf die verschiedenen Bestandteile des Protoplasmas muß nun aber gerade das flüssige Serum als das bevorzugte Aktionsfeld der chemischen Energieformen angesehen werden, auf dem sich Solutions- und Dissolutionsprozesse vollziehen können.

So durfte von vornherein der Serologie ein günstiges Horoskop gestellt werden. Sie konnte, geleitet durch die moderne Chemie, ihre eigenen Wege gehen, ohne gehemmt zu sein durch eine allzusehr systematisierende Methodik, womit die Anatomie heute noch die übrigen Disziplinen der Anthropologie und Medizin im Banne hält. Sie behielt zunächst das Individuum als Ganzes im Auge; dieses individuelle Ganze aber ist seinerseits wieder nur ein begrenztes Partikelchen der gesamten Artsubstanz.

Doch ebenso allgemein wie Blut und Serum finden wir auch noch eine zweite Teilsubstanz des Protoplasmas in allen Geweben des tierischen Organismus wieder: die plasmatische Substanz (*p*). Denn mit Ausnahme der realitiv an Masse wenig entwickelten Organe der nukleoiden Substanz sind alle übrigen Körperorgane als Abkömmlinge bzw. Modifikationen jener plasmatischen Substanz aufzufassen, die in ihrer einfachsten Form als Reserve-Material im Bindegewebe aller Körperpartien erscheint.

Dürfen wir auch nicht ebensogut diesen zweiten Protoplasmabestandteil *p* als Einheit ins Auge fassen als den Träger des Plastizitätsvermögens des Organismus, als den Hauptreaktionär für die mechanische (III.) Energiegruppe.

Für diese Auffassungsweise spricht ohne weiteres der Umstand, daß alle Gewebe durch Inaktivitätsatrophie in Bindegewebe zurückgehen können. Aber auch im Hinblick auf die höchste spezifische Differenzierung der Gewebe darf man die gemeinsame histogenetische Herkunft derselben nicht aus dem Auge verlieren, und der Hinweis auf die gemeinsame dynamo-mechanische Aufgabe bei verschiedenen Geweben darf nicht durch eine allzu schroff dogmatisierende Systematik verloren gehen.

Die plasmatische Substanz ist ja die gemeinsame elastische Hülle, welche die Kontenta umschließt und zugleich das Substrat bildet für die beiden anderen Protoplasmateile *n* und *s* und welche in erster Linie gegen den auf dem Ganzen lastenden äußern Druck reagiert.

Diese Hülle wird durch die Kontenta von innen gespannt, und durch die Expansion der Atmungsluft und Darmgase, wie ein Ballon aufgetrieben, wobei jedoch in ebenso hohem Maße auch anders gearteter, d. h. in flüssiger und halbfester Form aufgenommener Inhalt der Eingeweide mitbeteiligt ist. Dieser fremde Leibesinhalt befindet sich so zum

Teil in sehr beweglichem, labilem Gleichgewicht, indem er beständig unter der Einwirkung und Kontrolle einer doppelten Umhüllung von Seite der elastischen Leibessubstanz steht. Dadurch ist die vollständige Analogie in der physikalisch-mechanischen Anlage mit dem auf Seite 79, Experiment II—IV durchgeführten Experiment gegeben.

Es wäre hier schon der Ort, die Vorteile der neuen Ballontheorie der bisherigen statischen Auffassung gegenüber zu stellen, die ich unter der Bezeichnung „Ständertheorie" bekämpfe. Wir werden im folgenden Kapitel (unter C: Die Spezies Mensch) einläßlicher darauf zu sprechen kommen, nachdem wir noch zuvor das Konstruktionsprinzip des Menschen etwas näher ins Auge gefaßt haben.

2. Definition über den Begriff „Leben". Prinzipieller Unterschied im pflanzlichen und tierischen Organismus.

Nunmehr darf man auch den Versuch wagen, eine Definition darüber zu geben, was man nach den gewonnenen Anschauungen unter „Leben" versteht, und wie wir den Begriff umgrenzen wollen. Selbstverständlich wird auch diese Definition nur so lange standhalten, als nicht die Entdeckung neuer Tatsachen zu besserer Erkenntnis und zur Lösung neuer Probleme führt.

Wir sagen so:

1. „Leben" ist das funktionelle Vermögen einer *chemisch* hoch konstituierten, leicht umsetzbaren und energetisch hochwertigen, *physikalisch* inhomogenen, in ihren drei Grundbestandteilen auf Einwirkung verschiedener Energieformen hin verschieden reagierenden Substanz, im Austausch mit der Außenwelt durch Assimilations- und Dissimilationsprozesse chemische und mechanische Spannkräfte aufzustapeln und dieselben auf einen gegebenen kleinen („äußern" oder „innern") Reiz hin in anderer Weise wieder umzuwandeln,

   teils in chemische Energie . . . (Stoffwechsel)
   teils in mechanische Energie . . (Formwechsel)
   teils in Reizenergie . . . . . (Kraftwechsel),

   wobei sich die Gesamtkonstitution der eigenen Masse nur langsam und allmählich verändert.

2. Die Lebensfähigkeit der lebendigen organischen Substanz ist zeitlich begrenzt (mittlere Lebensdauer der Art).

   Die begrenzte Lebenskurve zerfällt in

   a) einen aufsteigenden Schenkel (Überwiegen der Assimilation),
   b) einen absteigenden Schenkel (Überwiegen der Dissimilation).

3. Die Entstehung des individuellen, wie des Lebens überhaupt ist eine allmähliche, da hierfür langsame Zufuhr genau dosierter Energiemengen zur herangezüchteten organischen Substanz nötig sind, um den chemischen Assimilationsprozeß einzuleiten.

   Das Ende des individuellen Lebens bezeichnet man als „Tod", dasjenige der Art-Existenz als „Aussterben". Es entspricht jenem Punkt der individuellen Lebenskurve, wo die angehäufte chemische und physikalische Spannkraft im Ausgleich von Assimilation und Dissimilation erschöpft ist (Ausleben) oder der funktionelle Gang der Lebensmaschine durch irgend eine mechanische (Trauma) oder chemische (Vergiftung) Störung jäh unterbrochen wird.

4. Innerhalb relativ geringer temporärer und individuell quantitativer Schwankungen (biologische Lebensbreite) ist die Zusammensetzung und Potenz der individuellen und der Artsubstanz (Artprotoplasma) konstant. Die innere Organisation dieser Substanz ergibt sich als Funktion dieser Zusammensetzung der Materie und ihrer Korrelation mit der Außenwelt (Selbstdifferenzierung des Protoplasmas und Anpassung an äußere Momente).
5. Der Unterschied im Leben von Pflanze und Tier ist teils ein gradueller, teils ein prinzipieller. Der prinzipielle Unterschied besteht darin:
   a) Die Pflanze lebt ihr Leben nur nach einer Front hin: Durch Energieaustausch mit der Außenwelt.
   b) Das tierische Leben vollzieht sich nach zwei Fronten hin, nämlich:
      nach innen: durch Ausnutzung der Energien der innern Außenwelt (Atmungsluft, Nahrung),
      nach außen: durch Abgabe des Ballastes (inkl. Frucht), Wahrung der Stabilität in Statik und Lokomotion.

Danach ist jede einzelne Lebensfunktion wie die Verkettung von solchen, das **„Leben"** überhaupt — nichts anderes als **das Pendeln der hochkonstituierten und selbstorganisierten Substanz um eine chemisch-mechanische Gleichgewichtslage herum.** L. S. 71.

III. Die Spezies „Mensch" und die Anthropogenese in Ontogenie und Phylogenie.

A. Zur Ontogenese des Menschen. (1—9.)

1. Zur Keimblätterfrage.

Die Durchführung einer Kausalanalyse der menschlichen Beckenform, die mit der Entdeckung des mathematischen Systems so überraschende Resultate gezeitigt hat, ist nur möglich geworden auf der Grundlage eines sichern Orientierungs- und Darstellungssystems. Dadurch erst wird nämlich der zu behandelnde Gegenstand, hier der menschliche Organismus, in richtig definierbarer Weise in räumliche und statische Korrelation gebracht zu seiner Außenwelt. Der Standpunkt des Beobachters ist dabei insofern von untergeordneter Bedeutung, als er in bezug auf die einmal gegebene Stellung des Objektes selber beliebig wechseln kann, wobei sich höchstens die orientierenden Bezeichnungen „vorne und hinten", „rechts und links" verändern. Der Begriff „oben und unten" aber richtet sich naturgemäß nur nach der physikalisch-statischen Korrelation der Anziehungskraft eines größern Körpers zum kleinern. Der Standpunkt des Beobachters ist hierfür nicht maßgebend.

Diesen orientierenden Grundgedanken darf man auch nicht ganz außer acht lassen, wenn es sich bei einer kausal-analytischen Formuntersuchung um die Struktur eines beliebigen Körpergewebes handelt. Man darf ihn also auch nicht gänzlich vernachlässigen in Histologie, Histogenese, Embryologie und Entwicklungsmechanik überhaupt, obschon er hier nur eine untergeordnete Rolle zu spielen vermag.

Das Studium der Protoplasmastruktur ist in den letzten Jahren mächtig gefördert worden durch zahlreiche Namen wie ALTMANN, BÜTSCHLI, PAUL ERNST u.a. Immer mehr hat sich auch hier das Bestreben kundgetan, wie VERWORN es in vorbildlicher Weise tut, die Lebenserscheinungen der Zelle auf rein chemophysikalische Vorgänge zurückzuführen.

Indem wir vom Begriff „Artserum" erweiternd zum Begriff des „arteigenen Protoplasmas" übergingen und von einem „Art-*P*" als Grundbegriff und Einheit sprachen, erscheint zunächst jedes höher organisierte Lebewesen als ein Teil der Arteinheit, als ein kleineres und größeres, umgrenztes Klümpchen Art-*P*, das sich unter dem Einflusse äußerer Faktoren nach dem Prinzip der Arbeitsteilung selber differenziert. Die einzelnen Gewebe erscheinen alsdann als Gruppierungen oder Akkumulationen von Protoplasmapartikelchen, die in loco auf eine bestimmte Energieform hin in gleicher Weise und mit ungefähr ein und derselben Intensität reagieren.

Unter den verschiedenen Energieformen ist die Gravitätsenergie wohl räumlich die verbreitetste und zeitlich in ihrer Wirkung auch die kontinuierlichste. Kein irdischer Stoff kann ihrem Reiz nur für einen einzigen Moment entfliehen. Im inhomogenen tierischen Zellorganismus ist der genannte Reiz der Schwerkraft aber z. T. kompensiert und ausgeglichen durch andere Kräfte verschiedenartigster Provenienz, die als Druck und Gegendruck wirken.

Als das Resultat dieses genannten Spannungsausgleiches der lebendigen Substanz mit äußern Kräften ist die strukturelle Organisation derselben anzusehen, und zwar speziell diejenige
L. S. 72. ihres plasmatischen *p*-Bestandteiles. **Die Protoplasmastruktur erfolgt durch Selbstdifferenzierung als notwendige Folge des Ausgleichs der permanent wirkenden Schwerkraft mit anderen Energieformen in der organischen Substanz.**

Diese Theorie fordert nun weiterhin, daß auch in der Entwicklungslehre mehr als es bis anhin der Fall war, die räumliche Orientierung Platz greifen muß. Der Orientierungsmodus ist jedoch für das Eistadium ein völlig anderer als der, den wir oben z. B. für die räumliche Lagebestimmung der Beckenform angewandt und als „äußere Orientierung" des lebenden Individuums bezeichnet haben. Im Gegensatz hierzu möchten wir jene als „innere" oder Ei-Orientierung bezeichnen.

Solange das Ei noch im mütterlichen Organismus haftet, so steht es, zwar vom rein statischen Standpunkt aus betrachtet, so unter dem Einfluß des mütterlichen Organismus, daß es nach seiner Einbettung füglich als ein Teil der Mutter angesehen werden muß. Entwicklungsmechanisch betrachtet aber kommt für das Ei nur der osmotische Innendruck und der elastische Außendruck des Gebärorgans bzw. der Eihülle in Betracht. Die innere Orientierung ist daher eine exzentrisch radiäre und geht von dem Zentrum des Eies aus.

Bei der Entwicklungsmechanik haben wir also zu unterscheiden zwischen Kräften, welche

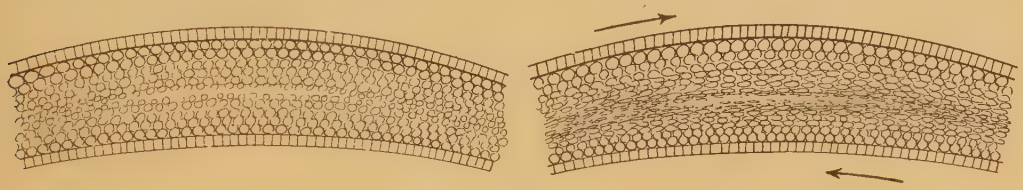
1. radiär zentrifugal, 2. radiär zentripetal, 3. tangential rotierend

angreifen.

Was speziell die intrauterine Mechanik und ihre hauptsächlichsten Faktoren betrifft, so werden wir im nächstfolgenden Abschnitt noch genugsam darauf zu sprechen kommen. Nur der Vollständigkeit halber sei es uns gestattet, hier in Kürze auch noch unseren Standpunkt in der Keimblätterfrage zu markieren, da er nicht ohne Bedeutung für andere Fragen über den Entstehungsmodus der Körperform sein kann.

Die Keimblättertheorie hat im Laufe der Zeit alle möglichen Umwandlungen durchgemacht. Es ist dies wohl zu begreifen. Die grundlegenden Untersuchungen über diesen schwierigen Stoff konnten nur auf Grund mühevollster mikrotomischer Schnittführung und mikroskopischer Beobachtung vorgenommen werden. Der Gedanke, dabei mechanische Probleme lösen zu müssen, lag mehr abseits und so trat das Forschen nach formbildenden, formtrennenden Faktoren im Studium der Keimblätterentwicklung bald mehr bald weniger in den Hintergrund.

Werden zwei festere Zellgefüge („Membranen"), welche durch einen lockeren Zellkomplex verbunden sind, wobei der eine als „relativer Fixpunkt" für den andern gilt, aneinander verschoben, so bleiben infolge der Adhäsionskraft Zellen von dem interponierten Komplex an beiden Membranen hängen; auf der Reibungsfläche aber werden die Zellen völlig gelöst, so daß tatsächlich jetzt schon mit vier Schichten oder Blättern zu rechnen ist. Oder — falls der geschiedene Zellkomplex beiderseits auf der Reibungsfläche durch die entstandene Reibung differenzierte Zellformen erzeugt (Schürfungsschicht), wäre man gar berechtigt, bereits von sechs verschiedenen Blättern zu reden. Auf diese Weise sind die verschiedenen Anschauungen zu erklären, die über die Zahl der Keimblätter, ihre Benennung, Bedeutung, Gruppierungen und Umgruppierungen entstanden sind, wie aus folgender Zusammenstellung der Autoren hervorgeht:



Figur 111.
Blätter- und Spaltenbildung durch rotierende Kräfte.

	His	Pander	C. E. von Baer	Remak
Obere oder animale Keimschicht	Oberes Grenzblatt Oberes Gefäßblatt Oberes Muskelblatt	Seröses Blatt	Hautschicht Fleischschicht } animales Blatt	Sensorisches oder oberes Deckblatt
Achsenstrang				Mittleres oder germinatives Blatt
Untere oder vegetative Schicht	Untere Muskelplatte Unteres Gefäßblatt Unteres Grenzblatt	Gefäßblatt Schleimblatt	Gefäßschicht Schleimhautschicht	Darmdrüsenblatt

Nach dem Vorausgegangenen ist unser Standpunkt in dieser Frage nicht mehr schwer zu erraten. Die vereinfachende Auffassung von der selbstdifferenzierenden Organisation der lebenden Substanz läßt uns von vornherein mit der vereinfachten Keimblättertheorie REMAKs sympathisieren, wobei wir sein „mittleres oder germinatives Blatt" geradezu mit einer „Stromabildung des Plasma" (*p*-Substanz) identifizieren können. Dieses Stroma des mittleren „plastischen" Blattes — wie wir es am treffendsten nennen wollen — liefert das Bindegewebe für den ganzen Körper. Es schließt sich nach außen und nach innen, d. h. nach der „Außenwelt" hin durch „Deckblätter" oder „Grenzblätter" ab (inneres und äußeres Deckblatt), wobei sich die neurogene *r*-Substanz in der Hauptsache dem äußeren Deckblatt, aber auch dem innern anschließt, indem es durch besondere Bahnen Fühlung behält zwischen den Blättern und dem zentralen Nucleuskomplex (Gehirn).

Die *s*-Substanz endlich kommt vorzugsweise in das plastische Stromablatt, und zwar zwischen die Deckblätter („Grenzblätter") und in die übrigen Spalträume zu liegen. (Oberes und unteres Gefäßblatt HIS.) Die Gefäßbildung vollzieht sich dabei nach den Untersuchungen von W. ROUX in den lockersten rein bindegewebigen Partien dieses Stroma ebenso die Nervenbildung und Verzweigung der entstandenen Muskelgruppen, welch letztere wie RUGE und R. FICK*) ausdrücklich hervorheben, oft ganz verschiedenen und entgegengesetzten Funktionen dienen. Mit Recht hat der letztere Autor darauf hingewiesen, daß die bisherigen Forschungsakten zu ganz verschiedenen Resultaten und Anschauungen führten. Mit unserer Auffassung stellen wir uns nicht nur auf den embryologischen und entwicklungsgeschichtlichen Boden der vereinfachten Keimblättertheorie, sondern geben damit zugleich auch die kausale Begründung, die sich auf die Molekularmechanik des Eiprotoplasmas und seiner drei Bestandteile stützt. — Weitere Untersuchungen über die mechanischen Korrelationen der äußern Energieformen zu den einzelnen Protoplasmabestandteilen und embryologischen Zellkomplexen unter scharfer Berücksichtigung ihrer gegenseitigen Festigkeitsänderung wären sehr zu begrüßen und würden das Verständnis der Ontogenesis wesentlich fördern.

2. Der Embryo.

Intrauterine Mechanik.

Erste Beckenformierung: Die fötale Beckenform.

Zwei Momente sind es vorzugsweise, welche das Spezies homo in ihrer Gesamtheit von den übrigen ihr im Bau zunächst stehenden Wesen unterscheiden. Es sind dies:

a) Die völlige „Aufrichtung der Rumpfform" und der in dieser balancierenden Körperstellung vor sich gehende Gang.

b) Eine exzessive Entwicklung der Großhirnhemisphären ihres Zentralnervensystems und die dadurch bedingte gesteigerte Geistesfunktion.

Als weitere charakteristische äußere Artmerkmale des Menschen von weniger großer Bedeutung wären noch anzuführen:

c) Verkürzung des Kaudalteiles der Wirbelsäule.

d) Verkürzung des Beckenringes.

e) Ausweitung des Beckenrohres und deutlich ausgesprochene geschlechtliche Differenzierung desselben.

f) Verkürzung des Gesichtsteiles des menschlichen Kopfes.

Können all diese und etwa noch weitere für den Menschen charakteristische Merkmale auf ein und dasselbe ursächliche Moment zurückgeführt werden? — Das ist zunächst unsere erste Frage.

Oder stehen die verschiedenen Artkennzeichen unter sich in einem andern als dem genannten Abhängigkeitsverhältnis? —

Ferner: Welche Erscheinungen müßten in letzterem Falle wohl als die ältern, welche als konsekutiv jüngere angesehen werden?

All diese Fragen sind grundlegend sowohl für das Problem der Anthropogenese, als auch für viele andere Fragen der Anthropologie überhaupt.

Schon im Jahre 1875 hatte HIS in seinen klassischen „Briefen" die spezifische Formbildung des menschlichen Gehirns als Faltenbildung infolge eines gehemmten Längenwachstums im Zentralnervensystem erklärt. Experimentell hat er diese Auffassung so sicher

*) Anatom. Anz. v. Bardeleben, 50. Bd., 1917, S. 410.

zu stützen gewußt, daß es nur verwunderlich erscheinen mag, wenn seither nicht weiter über die Ursachen und das Zustandekommen dieses gehemmten Längenwachstums am Kopfende der menschlichen Frucht nachgeforscht wurde.

Worin also wäre die von HIS nachgewiesene Wachstumshemmung in der Richtung der Längsachse der Frucht zu suchen? — Und ist diese Ursache wirklich spezifisch für die Art? — Liegt ihr Einfluß nur am Kopfende der Frucht, oder sind noch andere, ja vielleicht alle obgenannten anthropogenetischen Merkmale in ihrem Wirkungsbereich und können so als die natürlichen Folgen dieser Ursachen erklärt werden? —

Die Antwort auf diese Fragen und die Beweisführung für unsere Argumente sind im Ersten Teil unserer Arbeit niedergelegt. Sie lauten, hier in Kürze nochmals zusammengefaßt, etwa folgendermaßen:

Wie die von HIS nachgewiesene Formbildung der menschlichen Gehirnblase am Kopfende der Frucht, so sind in gleicher Weise auch alle übrigen, anthropogenetischen Merkmale als Folgen einer Verkürzung ihrer Längsachse zu betrachten, die ihrerseits wieder die natürliche Folge ist eines relativ vermehrten Uterindruckes in der Richtung dieser Längsachse der Frucht. (B. S. 16, 18, 20—22).

Der vermehrte Längsdruck folgert sich aus der Kugelform des schwangern menschlichen Uterus, welche dieser annimmt zu einer Zeit, wo beim Fötus die ersten Skelettanlagen in hyalinen Zustande vorgebildet sind und die beiden knorpeligen Ringsegmente, der Brustkorb und der Beckenring, sich bereits geschlossen haben (Ende des zweiten Monats).

Bei keiner Tiergattung bewirkt — wenigstens im entsprechenden Stadium der Fruchtbildung — der mehr walzenförmige oder gar bikorne Uterus einen relativ so starken Druck auf die Längsachse der Frucht — wie beim menschlichen Weibe in seiner Schwangerschaft (s. Fig. 31 a, b). Dadurch wird beim menschlichen Embryo nicht nur das Wachstum in der Längsachse gehemmt (Verkürzung des Kaudalteils der Wirbelsäule, Verkürzung der Kloake und des Beckenrings usw.), es kommt sogar im Gehirn zu vermehrten Faltenbildungen und in der Bauchhöhle zu einer vorübergehenden Konglomerierung der Bauchorgane Herz, Leber und Milz. So entsteht im Zentrum der nunmehr vollendeten und geschlossenen Spindelform beim Menschen — und zwar nur bei diesem! — im zweiten Uterinmonat jene konsistente „Leistkugel", deren Zustandekommen wir soviel zu verdanken haben (s. Fig. 28, 29, 35—43).

Als dem resistentesten Gebilde kommt ihr nämlich zu dieser Zeit die Aufgabe zu, die elastisch nachgiebigeren Skeletteile: Wirbelsäule, Brustkorb, Darmbeinschaufeln abzubiegen und auszuweiten, indem diese sich geschmeidig darüber legend angedrückt und danach geformt werden. Nur der Beckenring kann dies nicht mehr tun. Er ist zwar zu dieser Zeit immer noch von geschmeidigem hyalinem Material; allein im Gegensatz zum Brustring besitzt der geschlossene Beckenring bereits ein relativ kleineres Kaliber, als dasjenige ist, das in diesem Moment der Entwicklung die härtere Leistkugel aufweist.

Wird aber ein kleinkalibriges weiches Rohrstück gegen eine größere und stärkere Kugel angedrückt, so entstehen an dem erstern verschiedene im voraus genau zu berechnende Difformitäten wie Stauchung, Kompression, bei schiefem Andrücken auch partielle Dehnung, Abbiegen und Verkrümmung der Rohrachse usw. Hat diese Rohrwandung noch seitliche Fortsätze, so werden dieselben vor und hinter dem Rohrstück abgeknickt. Das sind Erscheinungen, wie sie sich alle an der intrauterinen Mechanik der Beckenbildung nachweisen lassen (s. I. Teil: Konstruktion des Lenden- und Steißbeinknicks).

Mit diesen mechanischen Vorgängen werden nun samt und sonders alle Formveränderungen erklärt, die wir vom dritten Fötalmonat ab im Wachstum der menschlichen Frucht an

ihrem Beckenring beobachten. Die hauptsächlichsten dieser Erscheinungen sind: relative Verkürzung der Symphyse, Krümmung des Beckenrohres und Abknickung der Wirbelsäule in der Lenden- und Steißbeingegend, d. h. vor und hinter dem geschlossenen Beckenring. Während aber der Symphysenteil desselben relativ verkürzt wird, erhält umgekehrt sein Rückenteil eher eine Dehnung und eine deutliche Trennung in zwei Teile, nämlich in

a) die Pars pelvina und
b) die Pars perinealis (Fig. 39 und 40), wobei die Ringbildung des erstern dieser Teile knöchern, die des zweiten Teils nur durch Bänderzug erfolgt. So gleicht das gebogene Beckenrohr dem Winkelstück eines Ofenrohres; eine Ausweitung desselben ist noch nicht zu konstatieren, sondern vorerst nur eine Achsenkrümmung des Rohres.

Die Übereinstimmung der Erscheinungen, wie wir sie in allmählicher embryonaler Entwicklung des menschlichen Beckenringes vor uns haben, mit denjenigen, wie sie das mechanische Experiment und das theoretische Konstruktionsbild wiedergibt — diese Übereinstimmung, sage ich — ist zu frappant, als daß noch weiterhin an der Richtigkeit unserer Auffassung gezweifelt werden könnte*).

Mit der Sanktionierung einer intrauterinen Mechanik aber, die einen solchen Einfluß auf die erste Formbildung des menschlichen Beckens ausübt und die lediglich den uterinen Innen- und Außendruck, Druck und Widerstand, Elastizität und Festigkeit des verschiedenen morphologischen Materials usw. in Ausgleichung bringt, damit ist das ontogenetische Grundgesetz O. HERTWIGs in seinen Grundvesten erschüttert. Und wer trotzdem unserer Auffassung skeptisch gegenüberstehen sollte, der möge sich durch die bloße Betrachtung eines zweimonatlichen Embryos eines bessern belehren lassen! —

Die Bewertung eines Beckenringes als Versteifungssegment der Rumpfspindel, seine temporäre Korrelation zur Leistkugel mußten zum Aufsuchen einer genetischen Beckenachse führen. Wir haben die Spur dieser ideellen Linie bei der Projektion der ausgewachsenen Beckenform auf der Medianebene (Γ_1) sofort wieder erkannt. Und dieser wichtige Fund führte beim ausgewachsenen männlichen Beckentypus weiterhin zur Entdeckung eines mathematischen Systems zweier Kreise mit drei gleich langen, senkrecht aufeinander stehenden Beckenachsen.

An der embryonalen Beckenform freilich ist dieses System noch nicht nachweisbar. Wohl mußten schon bei der Konstruktion des Lendenknicks die relativen Größenverhältnisse zwischen dem Kaliber des Beckenrohres, der Dicke der Rohrwandung und ihres Verstärkungsgrates einerseits und dem Durchmesser der Leistkugel anderseits genau berücksichtigt werden, da solche nicht nur für das Zustandekommen und die Stärke der Knickung selber maßgebend sind, sondern auch für die Art und Weise der embryonalen Beckendeformierung selber.

Nach den Untersuchungen der Embryologen besteht die erste Anlage des Beckengürtels aus einem linken und einem rechten Hüftbeinknorpel, die sich vorne median durch Bindegewebe vereinigen (Symphysis pubis). Jeder der beiden Hüftbeinknorpel besteht selbst aus zwei Stücken und beide vereinigen sich bekanntlich mit einem dritten Knorpelstück, das zum Sitzbein wird, in der Gelenkpfanne zu einer dreistrahligen Knorpelspange. Der Beginn des Verknöcherungsprozesses des Beckengürtels ist beim menschlichen Embryo an

*) v. ARX, Das Promontorium und seine Entstehung oder: Ursachen und Folgen des Lendenknicks. Zeitschr. f. Geb. und Gyn. 1916.

das Ende des dritten Monats hin zu verlegen, also in eine Zeit, wo der Kontakt mit der Leistkugel längst stattgefunden hat und wieder aufgehoben ist.

Das fötale menschliche Becken behält in seinen Grundzügen immer noch die spezifische Rohrform des tierischen Beckens bei, ohne Ausweitung, wenn auch die verkürzende und verbiegende Einwirkung des relativ gesteigerten Längsdruckes längst an demselben zu konstatieren sind.

Daß eine solche relative Verkürzung des Beckenrings bei fortschreitendem Wachstum der Frucht in der Tat stattfindet und in welchem Grade das geschieht, kann natürlich nicht wohl an ein und demselben Exemplar konstatiert werden. Hierzu bedarf es nun des Vergleichs an einer Reihe verschiedenaltriger Embryonen (s. I. Teil, Tab. IIc, S. 55).

Wir kamen bei unsern diesbezüglichen embryologischen Untersuchungen zu folgenden interessanten Resultaten, die wir hier kurz zusammenfassen:

1. Das Verhältnis der medianen Beckendurchmesserlängen zueinander bleibt bei fortschreitendem Wachstum der Frucht stets das gleiche (7 : 10 : 12).
2. Die relative Länge des Beckenrohres verkürzt sich dagegen bei fortschreitendem Wachstum der Frucht um etwa die Hälfte. Diese Verkürzung ist am stärksten im fünften und sechsten Monat.

Mit der allmählichen relativen Verkürzung der Längsachse der Spindelform nehmen selbstverständlich die Querdurchmesser der Rumpfform, und zwar beide in ungleicher Weise, beim menschlichen Embryo überhand. Beim Neugebornen ist die Spindelform in die Augen springend; das Kind scheint in der Hauptsache aus Rumpf und Kopf zu bestehen; die vier Extremitäten sind noch zu schwach entwickelt, um den dicken, unförmlichen Rumpf mit dem daran pendelnden schweren Kopf tragen zu können. Der bestehende Lendenknick (beginnende Promontoriumsbildung) ist äußerlich nicht sichtbar.

So wird der Säugling in der Wiege auf den Rücken gelegt. Dabei kommt — nicht ohne Einwirkung der bereits bestehenden Lendenkrümmung — jener Teil des langgestreckten Urachusschlauches am tiefsten zu liegen, der in dem abgebogenen Teil der Rumpfachse, also im Beckenring selber, gelegen ist. Hier bildet sich mit der Zeit beim Menschen infolgedessen die Urinblase aus, während der weiter vorn in der Bauchhöhle gelegene Teil des Schlauches, im Gegensatz beim Vierfüßler, allmählich obliteriert. Geschlechtsunterschiede sind an der Beckenform jetzt noch kaum zu konstatieren (LITZMANN) und sicherlich nicht stärker ausgeprägt, als dies beim Tierbecken zeitlebens der Fall ist.

3. Extrauterine Mechanik und Statik.

Anpassung des Individuums an die Außenwelt.

Mit der Geburt sind die innern wie die äußern Druckverhältnisse für das Individuum mit einem Male andere geworden. Der „Turgor“ wird nicht mehr rein durch den Zufluß des mütterlichen Blutes aufrecht erhalten. Der elastische uterine Druck hat aufgehört. Jede direkte Verbindung mit dem mütterlichen Organismus ist unterbrochen.

Das Kind steht jetzt direkt unter dem äußern Atmosphärendruck, der zuvor nur indirekt durch Vermittlung des mütterlichen Gewebes auf ihm lastete. Aber dieser Atmosphärendruck dringt nun — dank der ererbten Organisationsanlage — mit dem ersten Atemzug in die Rumpfhöhle ein und bedingt eine momentane Ausweitung ihrer vordern abgeschlossenen Partie, der Brusthöhle, bis durch den elastischen Widerstand ihrer Wandung Gleichgewicht geschaffen ist. Damit beginnt jener periodische Ausgleichswettkampf zwischen

innerer Belastung und Elastizität der Körpergewebe, den wir als Atmung bezeichnen und ohne die eine weitere Fortexistenz des intrauterin angefachten Lebens extrauterin nicht denkbar ist.

Die dritte Phase unseres physikalischen Experimentes II—IV (s. S. 72) beginnt. Sie kommt nur dadurch zustande, daß der Gesamtraum der elastischen Rumpfblase *A* durch ein Diaphragma (Zwerchfell) in zwei getrennte Räume geschieden wird: in die Brusthöhle und in die Bauchhöhle, von denen die erstere mit der äußern Luft kommunizieren kann.

Physikalisch genau genommen ist nun der erste Atemzug ein reiner Saugakt, ein Spannungsausgleich zwischen Innendruck und Wandungselastizität, der sich nicht nach allen Seiten hin sofort gleichmäßig vollzieht, sondern teils direkt auf andere elastische Körperteile übertragen, teils mittelbar durch Fortleitung auf anders gestaltete Innenkörper (Darmkontenta), die selber wieder in elastischen Hüllen eingeschlossen sind, weitergeleitet wird. Ermöglicht wird jeder Saugakt, wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, durch das „Zustandekommen eines luftleeren oder luftverdünnten Raumes". Das geschieht dadurch, daß die eine Wandung eines Raumes sich in ihrer Form oder auch in Lage verändert. Im letzteren Falle handelt es sich um eine starre (Kolben), im ersteren um eine elastische Wandung, die sich auf feste Punkte stützen kann. Im Organismus, der nur aus elastischem Gewebe besteht, muß daher dieses in seiner Zusammensetzung so kombiniert sein, daß relativ festere und relativ beweglichere Partien abwechseln, wodurch die Möglichkeit verschiedenartiger Bewegung der einzelnen Gewebspartien gegeben erscheint, so daß dadurch Saugwirkung zustande kommt (Thoraxwand — Zwerchfell).

Es sei hier der Ort, auf diesen Saugakt der Atmung etwas näher einzugehen und *das Zustandekommen des ersten Atemzuges* auch von der rein physikalischen Seite aus zu würdigen, nachdem man ihn in vitalistischer Auffassungsweise bis anhin stets als einen inspiratorischen Akt, hervorgerufen durch irgendeinen Nervenreiz, aufzufassen geneigt war.

Daß die freilich zuerst in die Augen springende inspiratorische — also expandierende — Lebensäußerung den Primärakt der Anpassung des Neugeborenen an die neuen Lebensbedingungen bilde, diese Anschauung ist aus zwei Gründen mechanistisch anfechtbar:

1. Gegen eine Expansion, eine aktive Volumsvergrößerung, spricht das gänzliche Fehlen eines luftförmigen Inhaltes im Rumpfe des Neugeborenen.
2. Könnte ein passives Eindringen von Luft in einen bisher geschlossenen Körper durch den oben beschriebenen Saugakt aber nur stattfinden durch Vergrößerung oder Veränderungen der Form selber. Beim Füllen eines Kautschukballons von gegebener Form besteht die erste Manipulation bekanntlich aber nicht im Vergrößern, sondern im Gegenteil im Verkleinern der Form durch den äußern Druck der Hand und im folgenden Nachlassen desselben. Da die inkompressible Körpermasse des Neugeborenen aber ebensowenig verkleinerungsfähig ist wie diejenige einer Ballonhülle, so kann nur noch die dritte Möglichkeit des Kausalzusammenhanges zwischen „Form und Funktion", die reine Formveränderung für das Zustandekommen des ersten Saugaktes in Frage kommen.

Wir hatten bereits oben nachgewiesen, daß beim Neugeborenen die Summe der innern formbildenden Kräfte derjenigen der nach der Geburt auf ihm lastenden äußern Kräfte nicht mehr gewachsen sei (S. 248). Es muß daher in erster Linie zu einer Kompression der Form kommen, nicht zu einer Expansion.

Das Weitere ergibt sich wieder aus dem Ballonexperiment IV, Seite 72, unter weiterer Rücksichtnahme auf die Ballontheorie, die den Torso als einen Ballon halbstarren Systems

mit zwei ungleichgroßen Kammern und abwechslungsweiser Anordnung von steifern und elastischerern Wandungsgurten am Druckbaumsystem auffaßt.

Der vordere kleinere Kammerraum *c* (Fig. 46) ist leer, steht aber mit der atmosphärischen Luft durch das Trachealrohr *t* in Verbindung; die Bauchkammer aber enthält in den unter sich beweglichen Darmhaustren *aa* eine dickflüssige verschiebungsfähige Masse, das Mekonium.

Der äußere Luftdruck nun kann seine Formveränderung an der Spindelform des Rumpfes nur im Sinne der konzentrischen Lagebewegung der Teilchen, also im Sinne der Annäherung an die Kugelform bewirken. Aber er findet einen ungleichen Widerstand in den verschieden elastischen Partien der Rumpfwand vor. Am nachgiebigsten zeigt sich die Bauchpartie; sie wird eingedrückt, die Baucheingeweide (*aa*) verschieben sich, wobei das noch elastischere Zwerchfell *d* nach oben ausweicht und zugleich die untern Partien des steifern Brustkorbes ausgeweitet werden. Dadurch aber werden die Ansätze des Zwerchfells auseinandergedrängt, das Diaphragma gespannt und schließlich zur reaktionären Kontraktion genötigt, wodurch das Lumen des Brustraumes *c* vergrößert wird. Dadurch aber wird der Saugakt herbeigeführt: Es kommt zum ersten passiven Einströmen der Luft durch die Trachea in die sich jetzt ausweitenden Lungenbläschen — also zum ersten Atemzug.

Daß diese rein mechanistische Auffassung über die Ursachen und das Zustandekommen des erstern Atemzuges richtig sein muß gegenüber allen geklügelten Erklärungsversuchen der Vitalisten, geht schon aus der Tatsache hervor, daß das asphyktisch todgeborene Kind auf rein mechanischem Wege durch die SCHULTZSCHEschen Schwingungen, die den Brustkorb künstlich zusammendrücken und wieder ausdehnen, ins Leben gerufen werden kann entsprechend der künstlichen Atmung bei Unglücksfällen.

In der maschinellen Einrichtung, in der Wechselfolge von versteiften und elastischen Körperpartien beruht also der hauptsächlichste Lebensfaktor, L. S. 73. indem beim Austausch von Spannungen in der Körpersubstanz ein Kraftmoment über einen Zeitpunkt hinaus zurückgehalten werden kann, wo an einer anderen Stelle bereits die Gegenaktion (Kontraktion der elastischen Wandung) angehoben hat.

Wir können das oben (s. S. 72) ausgeführte Experiment noch vervollständigen.

Man hat vielleicht schon bei der ersten Phase dieses Experimentes den Einwand erhoben, daß die mechanischen Bedingungen desselben denjenigen im Lebensgeschehen insofern nicht konform seien, als im Experiment die innere Blase (*B*), welche der Urinblase entsprechen soll, von außen her gefüllt wird, während ihre Füllung im Organismus aus dem Innern (der Blase *A*) selber erfolgt, also aus demselben Raum, in dem sich der Rezipient *B* befindet. Nach dieser Annahme wäre mit seiner Füllung nur eine Dislokation der Flüssigkeit gegeben, nicht aber eine Drucksteigerung durch dieselbe möglich.

Auf den ersten Blick hin mag dieser Einwand stichhaltig erscheinen. Bei näherem Zusehen aber muß ihm zweierlei entgegengehalten werden:

I. Mag auch der Filtrierapparat des Wasserausscheidungsprozesses, die Niere, in der Bauchhöhle selber liegen — der Druckapparat, das Herz das die auszuscheidende Flüssigkeitsmenge liefert, ist in der Brusthöhle zu suchen, also außerhalb der Bauchhöhle *A*, in der der Rezipient *B* liegt (Fig. 46).

II. Die ausgeschiedene Harnmenge wird in letzter Instanz wieder dem Blut der Körpersubstanz selber, d. h. dem ganzen Protoplasmagebilde entnommen. Seine Abgabe kommt also in erster Linie im Konto der Körperwandung in Verlust und ist nicht auf dasjenige einer der beiden Höhlen der Rumpfblase selber zu buchen.

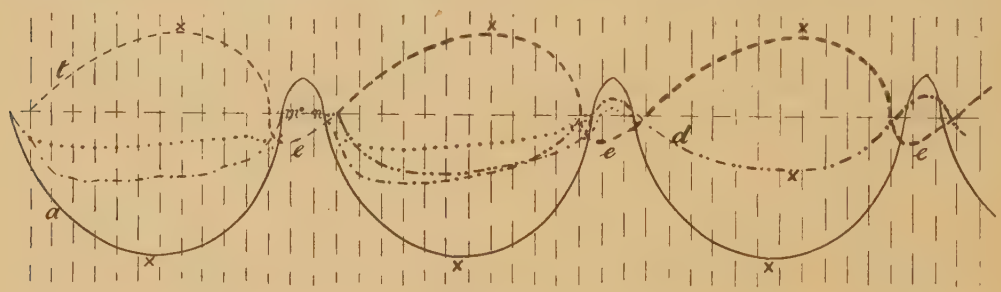
Die vielseitig wechselnden Korrelationen im Druck der beiden getrennten Räume sind aber auch noch viel zu wenig gewürdigt und erforscht, als daß ihre Wirkungen und Folgen

heute schon gänzlich übersehen werden könnten. Man hat bei den physiologischen Untersuchungen meistens nur die Druckverhältnisse der einen der beiden Hohlräume für sich studiert.

Exp. XII. *Experiment XII.*

Wir füllen und entleeren eine spindelförmige Kautschukblase von ungleich nachgiebiger Wandung mittels einer Pumpe von außen her mit Luft und beobachten gleichzeitig an den verschiedenen Wandstücken das Einsetzen der Dehnung und Entspannung derselben durch den hervorgerufenen inneren Druck. Dieser macht sich bei der Füllung zuerst an die elastischeren Partien der Blasenwand durch beginnende Ausbuchtung geltend. Zeitlich erst später ist er auch durch Formveränderung an den weniger nachgiebigeren Partien nachweisbar; bei der Entleerung kehren diese letztern früher in die Ruhestellung zurück, als die erstgenannten, mehr elastischen Wandteile.

Registrieren wir diese temporär verschiedenen Verhältnisse graphisch auf der Nullabszisse y, während wir zugleich die lokale Ausbuchtung zweier verschiedengradig elastischer Wandstücke a und t als Ordinatenausschläge verzeichnen, so erhält man beispielsweise folgende



Figur 112.

Die Kurven der Respirationswelle mit Phasenverschiebung.

a = Abdominalkurve, t = Thoraxkurve, d —.—.— resultierende Gleichgewichtslage des Zwerchfelles, ×× Kulminationspunkte der Exzersionskurven, e entspricht dem Pendelausschlag von e in Fig. 113.

Kurven (Fig. 112): Die Bauchwandkurve a setzt früher ein und endet später als die Thoraxkurve t. Letztere hat zudem einen steileren absteigenden Ast (Exspiration), als ihn die aufsteigende inspiratorische Kurve bildet.

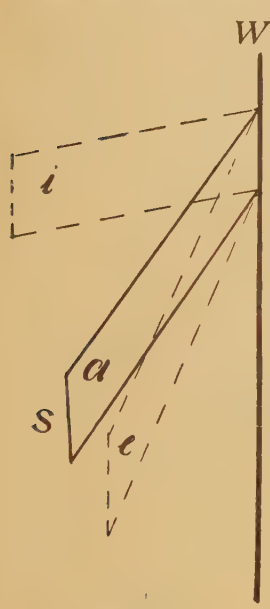
Daraus läßt sich a priori schließen: Der erste inspiratorische Atemzug des Individuums setzt mechanisch ein, nachdem zuerst eine kontraktorische Raumverminderung der Form stattgefunden, durch Nachlassen des Bauchgurtensegmentes. Die Thoraxinspiration durch konsekutive passive Erweiterung der eindringenden Luft erfolgt dann einen Zeitmoment später. Es kommt zu einer *Phasenverschiebung in der Saugfunktion.*

Faßt man die Angriffsrichtung der inspiratorischen Kraft und die durch diese hervorgerufenen Raumveränderungen ins Auge, so sind sie beim einkammerigen Ballon betrachtet auf die einzelnen Abschnitte der Ballonwand im gleichen Sinne, nämlich exzentrisch, gerichtet. In der graphischen Darstellung liegen somit Kurve a und t auf ein und derselben Ordinatenseite der y-Achse (Gleichgewichtsachse bei Nullbelastung).

Anders gestalten sich jedoch die räumlichen Relationsverhältnisse für a und t bei dem durch ein gespanntes Diaphragma d in zwei Hälften geschiedenen Ballon (Fig. 46). Hier liegen — vom Standpunkt des Diaphragma aus besehen — die durch den veränderten Druck hervorgerufenen Raumveränderungen zu beiden Seiten von d. Die Kurven von a und t verlaufen also, wie Fig. 112 darstellt, in einander entgegengesetztem Sinne, die eine positiv,

die andere negativ. Da nun aber das Diaphragma selber elastisch, also nachgiebig zu denken ist, so wird es selber nach der Seite derjenigen Kurve hingedrängt, welcher die größere Ausschlagsamplitude zukommt. Es geht so weit, bis das mechanische Gleichgewicht in beiden Kammern hergestellt ist. Die Diaphragmakurve *d* entspricht somit in allen Zeitmomenten des Experimentes der Gleichgewichtslage der innern Spannung einer elastischen Zwischenwand zweier Räume mit Wänden verschiedener elastischer Widerstände.

Wir haben in Fig. 112 der *t*-Kurve einen steilen exspiratorischen Absteig gegeben, weil in der Tat der physiologische Exspirationsakt in kürzerer Frist abläuft als der der Inspiration. Es ist dies bekanntlich schon die natürliche Folge der Schwere der Thoraxwand selber, die bei der Inspiration in der aufrechten Körperstellung des Menschen erst überwunden werden muß.



Figur 113.
Schematische Darstellung der Funktion eines Rippenpaares.
a = statische Gleichgewichtslage, *i* = Inspirationsstellung, *w* = Wirbelsäule, *s* = Sternum, *e* = Pendelausschlag.

Damit kommt aber (Fig. 112) der Kulminationspunkt der *t*-Kurve auf eine andere Zeitordinate zu liegen, als derjenige der Bauchwandkurve *a*. Der Kulminationspunkt der Diaphragmakurve *d* liegt somit zwischen den Kulminationsordinaten von *a* und *t*. Mit andern Worten: Im zweikammerigen Ballon halbstarren Systems, wie ihn der menschliche Rumpf mit seinem diaphragmatischen Zwerchfell und den abwechselnd am Druckbaum angeordneten elastischen und versteiften Quergurtensegmenten (H. STRASSER) darstellt, ist der Ausgleich der innern mit der äußern Belastung nicht in allen Punkten seiner Wandung im gleichen Zeitmoment vollzogen. Der ungleiche Elastizitätskoeffizient, die ungleiche Dehnungsfähigkeit der verschiedenen Wandteile des Ballons lassen verschiedengradige Belastung zu oder sie treten bei gleicher Belastung in verschiedenen Zeitmomenten in das Stadium der Reaktion ein.

Nun schnellt ein elastischer Stab, der an seinem einen Ende festgeklemmt, an seinem andern Ende aber durch eine äußere Kraft aus dem Gleichgewicht gebracht worden ist, nach dem Nachlassen dieser äußern Belastung zunächst nicht nur in seine Ausgangsstellung zurück, sondern pendelt darüber hinaus und kommt erst nach längerem Ausbalancieren allmählich in seine Ruhestellung zurück (Fig. 34).

Ähnlich verhält sich auch die Reaktion der starr elastischen Rumpfwand bei ihrer Rückkehr zur Gleichgewichtslage. Was speziell die versteifte Thoraxquergurte anbetrifft (Fig. 113), so hilft hier — wie oben erwähnt — noch die Schwerkraft ihrerseits mit, den reaktiven Ausschlag zu vergrößern und das Rippenpaar über die Gleichgewichtslage von *a* hinaus nach *e* abzudrängen, von wo aus sie erst wieder nach *a* zurückkehrt.

In ähnlicher, jedoch gleichmäßigerer Linie verläuft die Aktionskurve des elastischeren Bauchwandsegmentes *a* (Fig. 112), die von *m*—*n* in die negative Welle übergeht.

So wird die Gleichgewichtskurve, die dem jeweiligen Stand des am meisten nachgiebigen Zwerchfells entspricht, durch zahlreiche Faktoren beeinflußt, die ihrerseits nur in der verschiedenen absoluten und relativen Festigkeit, Elastizität und Widerstandsfähigkeit der Ballonwand des Organismus gegen äußere Kräfte gelegen sind.

Ändert sich das dynamische Verhältnis zwischen zwei solcher Faktoren, so ändert sich sofort auch das Resultat ihres dynamischen Ausgleiches in Aktion und Reaktion. Die Gleichgewichtswelle erhält einen andern Verlauf, ohne daß dabei auch die innere und äußere Belastung zu ändern braucht.

Was wir nun im Experiment künstlich vollführt, durch Auslese und Zusammenstellen von Stoffen verschiedengradiger Festigkeit und Elastizität in der Herstellung der Ballonhülle — das hat sich in der Natur im Laufe der Zeiten allmählich von selber vollzogen im Ausgleich innerer und äußerer Kräfte des Stoffes und allmählicher Vervollkommnung, d. h. höher schreitender chemischer Potenzierung und mechanisch-morphologischer Organisation der organischen Substanz. Es ist ein „Prozeßgebilde" entstanden mit morphologischer Selbstregulation (W. ROUX).

Die chemisch-physikalische Potenz der organischen Substanz wird vererbt. Sie bildet die Spezifität des Art-*P.* In ihr liegt auch das Anpassungsvermögen der ganzen Art, wie des einzelnen Individuums derselben an die Außenwelt fest begründet. Die Anpassung selber, die Selbstregulierung ist ein rein automatischer Akt und jede Funktion des Organismus vollzieht sich streng als natürliche Folge von Aktion der Außenwelt und Reaktion des Organismus, zuweilen, nachdem einmal genügende innere Spannkraft im Organismus vorhanden ist, auch umgekehrt, aber immer im Sinne des Begriffes der mathematisch-physikalischen Funktion.

Wir glauben durch das Experiment neuerdings gezeigt zu haben, welchen enormen Vorteil die Ballontheorie gerade in bezug auf den Atmungsprozeß des Menschen gegenüber der bisherigen starr systematologischen Auffassung uns bietet und wie weit der funktionelle Austausch der Atmungsluft — hier nur mechanisch, nicht chemisch genommen — auf den ganzen Organismus sich erstreckt.

Das ist ja schließlich unser Glück, daß unsere Respiration nicht mit der Thoraxwelle (t) vollkommen zu Ende geht. Unser Leben wäre damit sofort gefährdet und müßte durch eine „eigene Kraft" neuerdings wieder angefacht werden. Der Lebensprozeß selber aber erscheint im Grunde genommen ein viel einfacherer, als man ihn gemeinhin aufzufassen pflegte.

Der gesamte Atmungsprozeß beruht also, wie die Respirationskurve zeigt, auf einem Pendeln um die mechanische Gleichgewichtslage herum. Unsere Lebensdauer ist von dem beständigen Ineinandergreifen von Spannungs- und Entspannungsphasen, von Druck und Gegendruck von seiten der organisierten Körpersubstanz abhängig, wobei die Phasenverschiebung wohl zu berücksichtigen ist.

Nach Ablauf einer solchen „Respirationswelle" wäre unser „Leben" sofort wieder gefährdet, wenn sie die übrigen Lebensfunktionen nicht so lange überdauern würden, bis wieder eine neue Welle eingesetzt hat. Unsere Lebensdauer ist also von der beständigen und unausgesetzten Aufeinanderfolge von Spannungsausgleichen zwischen Atmungsluft und Elastizität der Rumpfwand (inklusive Diaphragma) abhängig gemacht.

Die Ballontheorie wird auch hier manches vereinfachend umgestalten und der einfachen Energetik des Stoffes die ihr zukommende Stellung in der Reihe der ursächlichen Kraftmomente des Lebens zuweisen. Diese Energetik stellt aber sicherlich überall das primäre Reizmoment dar; der reflektorische Nervenreiz übernimmt sodann nur sekundär die Vermittlerrolle zwischen dem primären mechanischen Reizmoment und dem sekundär folgenden reaktiven Widerstand der organischen, organisierten Substanz.

Zur Phylogenese des Menschen (4—10).

4. Die Ausbildung der juvenilen und der ausgewachsenen Beckenform.

Ausweitung des Beckenringes und Abrundung des hintern Rumpfendes.

Zweite Beckenformierung: Der männliche Beckentypus.

Als direkte Folge eines spezifischen Uterindruckes haben wir bis jetzt folgende anthropogenetische Formerscheinungen am Becken des Neugebornen konstatiert:.

1. Verkürzung des Beckenringes;
2. Verkrümmung des Beckenringes;
3. Stauchungserscheinungen am Os pubis (Bildung der Tubercula pubis);
4. Abknickung der Wirbelsäule vor dem Beckenring (Promontoriumsbildung);
5. Abknickung der Wirbelsäule hinter dem Beckenring (Steißbeinknick, Symphysis sacro-coccyg.);
6. Auswärtsstellung und Verbreiterung der Darmbeinschaufeln.

Mit diesen spezifisch menschlichen Beckendeformitäten tritt also der Säugling ins Leben ein. Von der Gepflogenheit seiner Eltern, ihn in der Wiege auf den Rücken zu legen, haben wir ebenfalls gesprochen. Später wird er gar aufrecht auf den Armen der Mutter getragen, oder nach der Sitte einzelner Völkerstämme der Mutter bei der Arbeit auf den Rücken gebunden.

Das hat als notwendige Konsequenz ein Tiefertreten der Blase zur Folge. Ihr beweglicher, tropfbarflüssiger Inhalt senkt sich, seiner Schwerkraft folgend in das Lumen des Beckenringes hinab, indem er den obern Teil des Urachusschlauches zum Lig. med. vesicae oblitieren läßt und seinen untern Teil ausweitet.

In einer gleichmäßig gespannten, elastischen Wand eingeschlossen und unter gleichmäßig äußerm Drucke stehend nimmt jede Flüssigkeit Kugelform an. Das ist auch beim Inhalt der Urinblase der Fall, theoretisch wenigstens und im Rahmen einer gewissen Breite des Füllungsgrades. Die Flüssigkeit selber ist auf äußern Druck inkompressibel, unnachgiebig. Das hat wieder seine wichtigen Folgen in Hinsicht auf die weitere Formgestaltung des Beckenringes.

Bei dem allmählichen Hinabgleiten der Urinblase auf der Innenfläche der ventralen Längsgurte der aufgerichteten Rumpfform wirkt das obliterierte obere Stück des Urachusschlauches (Lig. med. vesicae) noch als Retinakulum. Dem fortschreitendem Sinken wird auf der Beckenbodenebene Halt geboten, indem unterhalb der letztern die rückwerfende Kraft der Beckenbodenkontraktion in Wirkung kommt. Durch das Retinakulum einerseits gehalten und anderseits auf der virtuellen Innenfläche des Beckenringes aufruhend, kommt die sinkende Blasenkugel auf der ideellen Beckenbodenebene angelangt ins statische, stabil-labile Gleichgewicht, gleichsam auf zwei Ebenen aufruhend und oben vom lig. vesicae gehalten. Ihr Zentrum ist daher stets auf der Halbierungslinie des Winkels aufzusuchen, den die beiden „Stützebenen" zusammen einschließen (des Spreizwinkels oder Öffnungswinkels).

Meine Behauptung, daß die sinkende Blasenkugel auf der Beckenbodenebene zur Ruhe komme, darf ja nicht mißverstanden werden. Einmal müssen wir uns darüber klar werden, was wir überhaupt beim Menschen unter dem Ausdruck „Beckenboden" verstehen wollen. Es ist — kurz und bündig gesagt — derjenige elastische Abschnitt der Rumpfwand, der hinter dem Beckengürtel liegt, also der ganze elastische Beckenboden (Diaphragma pelvis mit der aufgelagerten Muskulatur) samt dem mehr oder weniger beweglichen Kaudalteil der Wirbelsäule, der beim intrauterinen Knickungsprozeß hinter dem Beckenring abgeknickt wurde (Steißbein).

Unter der Beckenbodenebene hätten wir uns somit eine Ebene zu denken, die den Beckenring nach unten zu abschließt, vorne durch den Scheitelpunkt des Angulus pubis und hinten durch die Steiß-Kreuzbeinfuge geht. Die Verlaufsrichtung dieser ideellen Ebene ist also von dem Momente an gegeben, wo die Abknickung des Wirbelsäulenstückes hinter dem Beckenring erfolgt. Auf der Medianprojektion oder dem Medianschnitt kann der

Winkel, den diese Ebene mit der innern Symphysenebene bildet, leicht gemessen werden. Er ist bei den Beckenschnitten fünf- bis sechsmonatlicher Föten noch sehr spitz und schwankt zwischen 55 und 60° (s. Figur 21 bis 25). Dementsprechend ist auch das ganze Beckenende, der hintere Pol der Spindelform solcher Früchte, wie auch noch beim Neugeborenen sehr zugespitzt (spitzer Typus, Fig. 54).

Die Abrundung des Beckenendes der Rumpfform braucht Jahre; sie geht Hand in Hand mit der zunehmenden Spreizung des Öffnungswinkels der beiden Stützebenen der Blase, und Hand in Hand damit vollzieht sich auch die Ausweitung des Beckenringes. Es ist daher schon a priori anzunehmen, daß all diese Erscheinungen in einem Kausalzusammenhange stehen werden.

Vor allem muß gesagt werden, daß alle genannten Formveränderungen erst mit dem Aufrichten der Rumpfform auftreten; bei keinem Vierfüßler sind sie beobachtet oder logischerweise denkbar. Umgekehrt auch wäre ihr Auftreten im gleichen Maße verunmöglicht, wenn die Rumpfachse, wie man bisher stets anzunehmen geneigt war, beim Menschen wirklich eine „vertikale" geworden wäre. Die Kausalanalyse der Beckenform und die Entdeckung des genetischen Achsensystems haben uns aber andere Vorstellungen gebracht. Stünde die Beckenhauptachse senkrecht, dann müßte die sinkende Blasenkugel, da ihr ein fester Halt fehlen würde, durch den Beckenring hindurchfallend, den elastischen Beckenboden einseitig belasten und dehnen und damit vielmehr zu einer Dehnung, einer Verlängerung als zu einer Ausweitung und Verkürzung des Beckenkanales führen.

Die Blasenkugel muß — um mit ARCHIMEDES zu sprechen — einen festen Punkt haben, auf den sie sich stützen kann. Und diesen festen Punkt findet sie gegebenenfalls auf der Innenfläche der Schambeine und der Symphysenebene, sobald der Beckenring in schräger Stellung zur Horizontalen gebracht wird, und wenn zugleich damit eine weitere schiefe Ebene, die ideelle Beckenbodenebene, zur weitern Stütze der Blase vorhanden ist.

Eine Kugel aber, die auf zwei schiefen Ebenen aufruht, tritt zu diesen in ganz bestimmte dynamische Beziehungen. Da die Belastung einer Ebene sowohl von ihrer Neigung zur Horizontalen wie vom Gewicht der Kugel selber abhängig ist, so müssen zur Berechnung des Druckes beide Faktoren bekannt sein; man muß also sowohl den Neigungswinkel der Ebene wie den Radius bzw. das Gewicht der Kugel kennen. Mit dem Neigungswinkel beider korreferierenden Ebenen ist auch ihr Spreizwinkel bekannt, falls beide Ebenen zur Horizontalen gleich geneigt sind.

Eine Kugel mit gegebener Radiusgröße tritt nun um so tiefer in den Spreizwinkel zweier Ebenen ein, je größer dieser letztere ist (s. Figur 54—56) oder umgekehrt: Sind die Winkelschenkel unter sich beweglich, so rückt das Kugelzentrum mit wachsendem Spreizwinkel dem Winkelscheitel immer näher.

Aus unseren Untersuchungen geht nun hervor, daß der Spreizwinkel zwischen Symphysen — und Beckenbodenebene beträgt:

beim fötalen Beckentypus . . . . etwa 55—60°,
beim männlichen Beckentypus genau 90°,
beim weiblichen Beckentypus . . . . . 116°.

L.S. 74. **Der Spreizwinkel ist also veränderlich,** er nimmt mit vermehrter Beckenspannung zu.

Der Grund dieser Erscheinung ist nicht mehr ferne zu suchen **und liegt im Sinken der inkompressiblen Blasenkugel nach dem hintern (untern) Ende der Rumpfachse zu.**

Selbstverständlich kommt die Harnblase nicht allein in Betracht, wenn es sich darum handelt durch Verlegung des Schwerpunktes nach dem einen hintern Achsenende zu die Rumpfachse in ihrem vordern Ende zu entlasten. Die Energetik des übrigen Rumpfinhaltes betätigt sich dabei genau in demselben Maße wie die Blasenkugel: Die Atmungsluft der Lungen, Magen- und Darmgase in erleichterndem, die übrigen Darmkontenta mit dem Blaseninhalt in beschwerendem Sinn. Sie alle sind in gleicher Weise beteiligt an der spätern Gestaltung der Rumpf- und Beckenform, wobei die ursprüngliche Spindelform des menschlichen Stammes allmählich eine mehr länglich walzenförmige Gestalt annimmt, während ihr unteres Ende sich abrundet.

Maßgebend für die dabei in Frage kommende Dynamik ist die Expansionskraft der Gase einerseits, der plastische Widerstand und das Gewicht des breiig festen und flüssigen Körperinhaltes anderseits. Mit ihnen hat sich die elastische Körpersubstanz in Korrelation zu setzen. Aber hierin zeigt sich ein gewaltiger Unterschied im Verhalten der verschiedenen Aggregatzustände der „innern Außenwelt" dem Organismus gegenüber.

Während nämlich der gasförmige Aggregatzustand, der in doppelter Umhüllung eingeschlossenen Kontenta stets expandierend wirkt und der breiige nachgiebig plastisch ist, zeigt der tropfbarflüssige nicht den mindesten Grad von Nachgiebigkeit. Als Beweis hierfür mag das verschiedene Verhalten der Schußwirkung in den verschiedenen Eingeweidepartien gelten.

In der Inkompressibilität ihres Inhaltes wäre es sonach gelegen, wenn wir der Urinblase eine so wichtige Rolle der Formbildung zuschreiben müssen. Zudem ist dieser Inhalt in seinem tropfbarflüssigen Zustande so beweglich, daß er sich selber in seiner Lage leicht verschiebt indem er sich in der Richtung der Schwerkraft fortbewegt. Dieses Verhalten des flüssigen Mediums, technisch ausgenützt, liefert dem Menschen bekanntlich ja die größten Kräfte, die er in seinen Dienst nimmt. Warum sollten sie nicht imstande sein, in seinem schwachen Organismus auch zum dynamischen Faktor zu werden in der Ausweitung seines immer noch elastischen Beckenringes?! —

Was hat man aber alles unter diesem Begriff der „Ausweitung des Beckenrohres" zu verstehen und wie läßt sich eine solche nachweisen und bemessen? —

Daß das menschliche Beckenrohr schon durch die intrauterine Mechanik eine Zusammenstoßung und Krümmung dorsalwärts erfährt, scheint mir nun nach den übereinstimmenden Resultaten unserer Forschung nach den verschiedensten Untersuchungsmethoden genugsam erwiesen zu sein. Dabei bleiben sich die Krümmungsfläche der hintern Symphysenwand und die Vorderfläche des Kreuzbeins zunächst noch parallel, wie ein jeder Medianschnitt bei der menschlichen Frucht beweist (Fig. 20—25).

Die Verbindungsgerade, welche den hintersten und den vordersten Punkt dieser gekrümmten Spurlinie des Kreuzbeins miteinander verbindet, habe ich die „Rafenlinie" genannt, da das Kreuzbein sich wie bei einer Pultdachkonstruktion auf diese beiden Endpunkte stützt (Fig. 95).

Bei der nun in Frage kommenden Ausweitung des Beckenrings werden die beiden Endpunkte der Rafenlinie einander genähert, — mag man den hintern Stützpunkt am Steißbeinknick oder an der Steißbeinspitze selber wählen.

Es können nämlich vom Promontoriumspunkt (H) aus zwei Rafenlinien konstruiert werden. Die Mittellote, die wir auf dieselben abwärts nach dem Beckenlumen hin errichten, stützen sich beim männlichen Beckentypus auf den Mittelpunkt der Beckendrehachse ($P' P$), also auf das Zentrum des statischen Achsenkreuzes selber.

Aber die Vorderfläche des Kreuzbeins hat schon beim Manne einen ganz andern Verlauf, als ihn die Rafenlinie andeutet. Wir finden sie nicht nur zusammengestoßen, sondern

meist auch ungefähr über der Mitte des 3. Kreuzwirbelkörpers in kurzem Abstand 1—2mal deutlich geknickt. Die so erhaltene Konstruktion entspricht durchaus dem Mansardenausbau, den man, um im Innern des Gebäudes mehr Raum zu gewinnen, auf die Rafenkonstruktion aufsetzt (s. Fig. 95).

L.S. 75. **Der Druck bzw. die Kraft, die zu einer solchen Ausweitung des Beckenringes führt, muß notwendig von innen kommen.** Damit ist auch das Rätsel von dem „verkehrt keilbeinförmigen Kreuzbeindurchschnitt" ein für allemal sicher gelöst.

Noch bleibt mir übrig, den nähern Beweis für meine Behauptung zu erbringen, daß das Senken der Blasenkugel das hauptsächlichste mechanische Moment der extrauterinen Beckenausweitung sei.

Daß das Zentrum der Blasenkugel mit wechselnder Füllung der Blase stets auf der Halbierungsgeraden des Spreizwinkels der beiden Beckenbodenebenen sich bewegt, scheint mir keines weitern Beweises zu bedürfen. Es wird dabei mit wachsender Füllung selbstverständlich ein jeder Punkt dieser Geraden bis zu einer gewissen Höhe hinauf zum Blasenzentrum. Für die Zentrumslage des Kugelminimums und -maximums jedoch kommen wohl nur zwei mechanisch bevorzugte Punkte in Betracht, die sich aus der Konstruktion der ganzen Beckenform als Schnittspunkte mit andern statischen oder mechanischen Linien ergeben.

Die Zentrumslage für das Blasenminimum kommt für diese Erörterung weniger in Betracht. Für das Maximum ihrer Kugelform ist es der Schnittpunkt U_2 der Halbierungsgeraden des Öffnungswinkels der beiden Beckenbodenebenen mit der statisch genetischen Hauptachse, die durch die Drehachse ($P'P$) des Körpers gehend männlicherseits unter dem bestimmten Neigungswinkel von 45° steht (Tafel I u. II GZ).

Zieht man nun von diesem Schnittpunkte (U_2) aus einen Kreis, so daß er die Symphysen- und die Beckenbodenebene tangiert, so kommt man zu der überraschenden Wahrnehmung, daß die Kreisperipherie zugleich auch die Rafenlinie berührt, die vom Promontorium zur Steißbeinspitze verläuft. Zudem verläuft dieser Kreisumfang ziemlich mit dem untern Teil der vordern Kreuzbein- und der vordern Steißbeinfläche parallel in einem gewissen Abstande, der dem Durchmesser des Rektalrohres entspricht.

Gegen das Promontorium zu freilich nähert sich der U-Kreis immer mehr der Kreuzbeinkontur. Es muß dabei in Betracht gezogen werden, daß das Rectum bzw. Colon descendens in seinem weitern Verlauf nach oben seitlich links ausgewichen ist.

Nichtsdestoweniger darf nach Analogie des Beckenbodenmechanismus der Blasenkreis nicht größer gezogen werden als bis er die Rafenlinie berührt, denn diese verhält sich mechanisch der gewölbten Kreuzbeinlinie gegenüber genau ebenso, wie die Linie der Beckenbodenebene zum Kreisbogen der Beckenfaszie. Konstruktionell scheint mir also der Beweis erbracht zu sein, daß sich auch die Beckendachkonstruktion der maximal geformten Blasenkugel tangential anlegt.

Es gibt aber noch andere sicherere Beweise.

Sie liegen in der feinfühligen Konstruktion der „innern Tangente", die sich aus der Darstellung der Form auf andern Projektionsebenen ergibt und die wir erst in einem spätern Abschnitt näher zu würdigen verstehen.

Nachdem wir hier in kurzen Zügen die mechano-statische Bedeutung der hauptsächlichsten Linien und Winkel des Beckeninnern hervorgehoben, fassen wir nun auch noch die äußere Form des männlichen Beckentypus kurz ins Auge, ohne jedoch einen Moment zu vergessen, daß der Beckenring einen Versteifungsapparat der Rumpfwand darstellt und als solcher das Befestigungsmittel für den einzigen Stützapparat des Organismus abgibt.

In der komplizierten und wenig übersichtlichen Gestalt freilich, in der sich ein präpariertes Bänderbecken dem Auge des Beschauers darstellt, kommen die obengenannten Qualifikationen nur wenig zum Ausdruck. Sie werden optisch übertönt von den mehr akzidentellen Teilen des Beckengürtels, den Darmbeinschaufeln und dem Sitzbein, welche funktionell mit dem Beckenring nur so viel zu schaffen haben, daß sie als ausgezogene Bestandteile des versteiften Rumpfwand-Segmentes zum Ansatze der Muskulatur dienen.

So sind bis jetzt nebensächliche Beckenteile in den Vordergrund getreten und haben das Vorhandensein von Proportionen allzulang verschleiert, deren Kenntnis für die Beurteilung der Form und ihrer Entstehung so unumgänglich notwendig ist.

Die schön geformte Bogenlinie, die sich als vollkommener Halbkreis vom untersten Endpunkt der Columna spinalis der Wirbelsäule über die Spinalhöcker des Kreuz- und Steißbeins und weiterhin über die Beckenbodenfaszie und die äußere Schambeinlinie der Ossa pubis hinzieht, muß uns auf dem Medianschnitt eines wohlgebauten männlichen Beckens überraschen. Der Mittelpunkt (M) dieses Kreisbogens liegt vertikal über der Mitte der Drehachse (PP') und muß als Mittelpunkt betrachtet werden für die nunmehr nicht mehr spitze, sondern völlig abgerundete Form des hintern Rumpfendes. M ist zum Mittelpunkt des formbildenden Kreises des Beckenendes geworden.

Auf die Einzelheiten der Konstruktion kann hier ebensowenig eingegangen werden, wie auf die unzählbaren Korrelationen zwischen mechano-dynamischer Formbildung und statischer Formerhaltung. Sie sind im ersten Teil dieses Buches nachzusehen. Es genügt hier, nochmals darauf hingewiesen zu haben, daß die beiden Kreise: der formbildende M-Kreis und der statische P-Kreis so in einem konstanten Größenverhältnis zueinander stehen, daß Radius und Durchmesser des einen ohne weiteres bekannt sind, sobald wir nur den Radius des andern kennen. Da der M-Kreis genetisch aber der ältere ist, so müssen wir sagen:

Der formerhaltende statische P-Kreis ist eine Funktion des mechano-dynamisch formbildenden M-Kreises. L.S. 76.

$$R_p = f \cdot R_m, \text{ wobei } f = \varphi = 1{,}2246 \text{ ist.}$$

Oder aber: Die statische Formumbildung bzw. „Formerhaltung" ist schon durch die mechanistisch genetische Formentwicklung des Organismus gegeben; sie ist abhängig vom Elastizitätskoeffizienten der Artsubstanz.

Auf die nähere Begründung dieser konstanten Korrelation, die uns die Rekonstruktion der Form aus den einfachsten Elementen heraus auf synthetischem Wege ermöglicht, kommen wir weiter unten noch einmal zu sprechen.

Es sei hier nur vorweggenommen, daß die Funktion der beiden Kreise, die wir zuerst auf der Medianebene I_1 der männlichen Forment deckten, sich nicht nur — was ja nicht von vornherein angenommen werden konnte — auch auf den übrigen Projektionsebenen wiederfand, sondern auch an der noch mehr ausgeweiteten weiblichen Beckenform, freilich in modifizierter Anordnung, zum Ausdruck kommt.

Schon das deutet darauf hin, daß das H. MEYERsche Naturgesetz der Pubospinalebene, auf das wir unsere Orientierungsmethode gründeten und das schon nach dem Wortlaut des Autors in gleichem Maße für beide Geschlechter Gültigkeit haben soll, nur eine Teilerscheinung darstellt einer ganzen Reihe gesetzmäßiger Normen, die wohl ergründet an einem einzigen Beckenindividuum nachgewiesen werden können unter Berücksichtigung der einschlägigen mechanischen Faktoren, welche die Norm herbeiführen. Niemals aber läßt sich diese Norm ergründen aus statistischen Zusammenstellungen, die mehr praktische

Ziele verfolgend nur so viel Rücksicht nehmen auf die Kausalmomente, als sie eben dem praktischen Bedürfnis entgegenzukommen scheinen. Die Resultate dieser Methodik stellen mehr das individuell Abweichende in den Vordergrund als die generelle Norm.

Wir glauben daher, hier die Resultate unserer Analyse der männlichen Beckenform nochmals in ihren Hauptpunkten zusammenfassen zu müssen:

L.S. 77. **Männlicher Beckentypus. Das Konstruktionsprinzip der männlich ausgewachsenen Beckenform beruht auf einem Achsensystem von drei gleich langen senkrecht aufeinander stehenden Achsen.**

a) Die Beckenhauptachse bildet als Diagonale des statischen Vierecks den hintersten (untersten) abgeknickten und statisch stabilisierten Abschnitt der Rumpfachse $S\,S$ und steht in aufrechter Stellung des Individuums unter dem konstanten Neigungswinkel von 45°. Sie verläuft in der Medianebene von der Mitte der Interspinallinie durch die Mitte der Drehachse $P\,P'$ und endigt in der horizontalen Beckengrundebene T_3 im Fußpunkt des Lotes der Columna spinalis (Tafel I u. II, Z).

b) Die Stütz- oder Kontreachse verläuft vom O-Punkt des Ordinatensystems durch die Drehachse zum Endpunkt des Verstärkungsgrates der Wirbelsäule (Columna spinalis) und hat als zweite Diagonale des statischen Quadrates ebenfalls eine Neigung von 45°, steht somit senkrecht auf der Hauptachse.

c) Die Dreh- oder Balancierachse $P'P$ verbindet in ihrem horizontalen Verlaufe die Zentren der beiden Femurköpfe $P\,P'$ untereinander. Sie steht im Schnittpunkt der beiden andern Achsen zu dieser ebenfalls senkrecht.

d) Alle drei Achsen a, b und c stehen also senkrecht aufeinander und haben gleiche Länge.

Das Beckenende der ausgewachsenen männlichen Rumpfform bildet in seiner Gesamtheit eine schief gestellte Halbkugel. Beckenbodenfaszie und äußere Kontur des mediangelegenen Beckenteils (Kreuz- und Steißbein, Symph. pubis) werden vom Zentrum M dieser Halbkugel formiert. Die formierende Kraft liefert der flüssige Inhalt der Harnblase in Verbindung mit der Energetik des Inhaltes der übrigen Beckenorgane.

Das formierende Zentrum M liegt beim männlichen Becken vertikal über der Mitte der Drehachse (P) (Labiles Gleichgewicht).

Die Statik der schräg gestellten Halbkugel des männlichen Beckenendes entspricht der in schwebender Haltung sich befindlichen Bessemer-Stahlbirne (Buddel) (Taf. VI, Fig. 79).

Der Öffnungswinkel (Spreizwinkel) zwischen der innern Symphysen- und der Beckenbodenebene beträgt beim männlichen Geschlecht genau 90° und hält so die Mitte zwischen dem fötalen und dem ausgewachsenen weiblichen Beckentypus (s. S. 266). In allem erweist sich die Form als Produkt eines rechtwinkligen Konstruktionsprinzips; es verbindet daher in Formierung sowohl wie in Statik mit großer Einfachheit der Konstruktion zugleich die denkbar größte Sicherheit und Festigkeit.

Der Mechanismus des Beckenbodens ist dem einer einfachen Federbrücke vergleichbar (Fig. 49). — Die funktionelle Zwischenstellung des Steißbeins zwischen fester Wirbelsäule (Kreuzbein) und elastischer Beckenbodenfaszie neigt infolge seiner gestreckten Stellung und festern Verbindung mit jener in der Kreuz-Steißbeinfuge mehr auf die Seite der Stabilität als zur Elastizität hin. Der Kaudalteil der menschlichen Wirbelsäule hat sich also, nachdem er seine balancierende Funktion als selbständiges Glied eingebüßt hat, sich in die Federbrückenfunktion des Beckenendes eingliedern lassen, indem er dieser zum Stützpunkt wird.

Die Lote der Beckenbodengeraden treffen sich im mechanisch formbildenden *(M-)*, diejenigen der beiden Rafenlinien der Beckendachkonstruktion im statischen *(P-)*Zentrum.

So bezeichnen wir kurz mit einem Worte das männliche Becken als die Form eines gleicharmigen Achsenkreuzes von drei senkrecht aufeinander stehenden Achsen. Charakteristisch für den männlichen Beckentypus ist der Spreizwinkel von 90° (Figur 55).

Noch ist wohl zu bemerken, daß auch dem juvenilweiblichen Becken bis zur Pubertät des Individuums dieser männliche Beckentypus zukommt.

5. *Die Ausweitung der juvenilen zur ausgewachsenen weiblichen Beckenform.*

Dritte (sexuelle) **Beckenformierung: Der weibliche Beckentypus.**

Da sich in der Entwicklung der innern und äußern Genitalien beim menschlichen Embryo eine deutliche geschlechtliche Differenzierung erst vom dritten Monat ab bemerkbar macht, so fällt die erste Beckenformierung, die wir an das Ende des zweiten Monates verlegt haben, zeitlich vor jenen Termin. Diese muß sich daher schon logischerweise bei beiden Geschlechtern genau in derselben Weise abspielen. Die Bedingungen hierzu, wie die ursächlichen Momente: Der Zusammenstoß von Beckenring und Leistkugel, die Verstärkung des Längsdruckes im mütterlichen Fruchthalter, sind bis zur geschlechtlichen Differenzierung der Frucht naturgemäß für beide Geschlechter die gleichen.

Schon etwas anders liegen — wenigstens scheinbar — die Verhältnisse bei der zweiten Beckenformierung —, bei der Ausweitung des Ringes zum juvenilen („männlichen") Typus, der aber immer noch in der Jugendzeit beiden Geschlechtern in nur ganz wenig voneinander abweichender Form eigen ist. Von der Zeit der geschlechtlichen Entwicklung des Individuums ab pflegt beim Genus „Mensch" auch eine ausgesprochen geschlechtliche Differenzierung der Beckenform aufzutreten in der Weise, daß der Mann den juvenilen Typus sozusagen unverändert beibehält, während das menschliche Weib denselben weiter umgestaltet. Diese dritte Beckengestaltung ist also eine ausgesprochen geschlechtliche Erscheinung. Ihre Ursachen müssen daher zweifelsohne in der Ausbildung des weiblichen Genitalorganes selber gesucht werden. Daß sich diese tatsächlichen Momente nicht schon früher, etwa bei der zweiten Beckenformierung, auch beim Mädchen in höherem Grade geltend gemacht hat, ist freilich auf den ersten Blick verwunderlich. Der Grund ist aber darin zu suchen, daß die innern wie die äußern weiblichen Genitalien, die als dynamische Faktoren hier in Frage kommen können, Uterus, Ovarien und Schwellkörper, vor der Pubertätszeit nur rudimentär entwickelt sind und daher bei der zweiten Beckenbildung dynamisch entweder noch gar nicht oder doch nur unbedeutend zur Geltung gelangen. Da wo sie sich in abgeschwächtem Maße inter- und extrauterin überhaupt geltend machen, sind die Erscheinungen durchaus gleichlautend, wie diejenigen sind, welche bei der geschlechtlichen Umwandlung des weiblichen Beckens in der Pubertätszeit beobachtet werden.

Wie darf man sich aber das Zustandekommen dieser Reifeentwicklung am Skelette beim Mädchen mechanistisch erklären? — Die Antwort auf diese Frage scheint mir jetzt durchaus nahe zu liegen und scheint mir zum Teil schon durch das physikalische Experiment X (s. Fig. 91, S. 167) gegeben zu sein.

Schon lange, bevor dieses Experiment und eine genauere Analyse der Beckenform mich belehrten, hatte ich in einer Arbeit*) auf das Wettspiel der Kräfte hingewiesen, das

*) Über die Ursachen einer natürlichen Lage des Uterus. Volkm. Sammlg. kl. Vorträge. N. F. 210, 1897. S. 1213 (Fig. 14—18).

notgedrungen mit dem Tiefertreten der Harnblase am weiblichen Genitalorgan sich abspielen muß, welch letzteres ja mit der Blase an seinem untern Ende schon genetisch im Zusammenhang steht. Meine spätern Untersuchungen sowie die praktischen Erfolge in manueller Ausweitung des in der Entwicklung zurückgebliebenen Beckenringes haben die damals geäußerte Ansicht voll und ganz bestätigt.

Wenn wir oben konstatiert hatten, daß die Blase beim jugendlichen Menschen — beim männlichen sowohl wie beim weiblichen — erst gegen den Beginn der Pubertätszeit hin zu ihrer vollen Kraftentfaltung in bezug auf die Beckenformierung gelangt, so muß nachträglich darauf hingewiesen werden, daß sie sich erst in diesem Lebensalter des heranwachsenden Individuums soweit in den Beckenring hinabgesenkt hat (SYMINGTON und TAKAHASI), daß sie diesen überhaupt zur ausweitenden (zweiten) Formierung bringen kann, und zwar in gleicher Weise bei beiden Geschlechtern.

Bei der ausgesprochen geschlechtlichen Differenzierung der ursprünglich indifferenten Geschlechtsanlage treten aber bald bei beiden Geschlechtern verschiedenartige Verhältnisse auf, die auf den Verlauf der Entwicklung des Beckenendes von mechanischer Bedeutung sein müssen, wenn sie sich auch sehr spät in ausgesprochener Weise äußern.

Bei beiden Geschlechtern bleibt der genetische Zusammenhang zwischen Urachusschlauch bzw. Blase und Genitaltraktus zwar bestehen. Durch die Rückbildung der MÜLLERschen Gänge und die Verlagerung der Hoden außerhalb des Beckenkanals aber bleibt männlicherseits der Urachusschlauch neben dem Rektum einzig im Lumen des letztern zurück, während bei der weiblichen Frucht der Vereinigungspunkt der MÜLLERschen Gänge sich verdickt und im Kontakt mit dem Urachus bzw. der daraus gebildeten Blase bleibt. Genau zu beachten ist noch, daß beim männlichen Individuum die Lage der Prostata unterhalb der Beckenbodenebene fällt, diejenige des Fundus uteri aber oberhalb desselben.

Solange die Blase sich nun über dem Beckenring befindet und solange die aus der Verdickung der MÜLLERschen Gänge an ihrer Vereinigungsstelle hervorgehende Uterusanlage noch rudimentär ist und mit der Harnblase noch höher oben in der Bauchhöhle liegt, so lange können wir auch in bezug auf die Beckenformierung beim männlichen und weiblichen Geschlecht keinen wesentlichen Unterschied konstatieren. Das juvenile Becken muß daher für beide Geschlechter gleich sein. Anders aber gestalten sich die Dinge, so bald einmal die Blase beginnt, in das Lumen des Beckenringes hinunterzusteigen. Zwar ist auch zu dieser Zeit beim Mädchen der Uterus noch sehr schwach entwickelt; er pendelt, an seinem obern Ende durch die Ligg. rotunda nur lose gehalten, als Spielball der Nebenorgane schwankend herum. Nur an seinem untern Ende bleibt er stets mit der Blase enger verbunden. Erst jetzt treten auch jene hydrodynamischen Erscheinungen auf, welche das Experiment X in Figur 91 in so vollkommener Weise beleuchtet, jene Zerrungen am Ansatz der Ligamente, sobald die gefüllte Blase sich auf einen bestimmten Fixpunkt stützen kann.

Durch diese funktionellen Zerrungen wird zunächst die Uterusmuskulatur am Ansatzpunkt der Mutterbänder verstärkt und zugleich ein stärkerer Blutzufluß nach dem ganzen Uterus zugeleitet.

Es finden dabei auch rotierende Bewegungen statt, wobei der Ansatz der Ligamentae rotunda nach unten hinten gezogen wird, und zwar so lange, bis die Ebene derselben, die durch ihre beiden Befestigungspunkte geht (Inguinalring—Fundus uteri) endlich parallel zur Beckenbodenebene steht.

Der Uterus ist dadurch zum elastischen Hebelarm geworden (s. Fig. 91), dessen verschiebbarer Drehpunkt in seinem obern Ende (Ansatz der ligg. rot.) gelegen ist. Die Last wirkt von der Blase aus an ihrer Verbindungsstelle mit dem Collum uteri, die Kraft

greift zwischen beiden in umgekehrter Richtung an, wie die Last. Es ist dies der reflektierte Druck, der vom Beckendach zurückprallt und sich in der Gegend vereinigt, wo die natürliche Abknickung des Uterus zu suchen ist. Hier wird das elastische Organ wie durch eine unsichtbare Fadenschlinge im Gleichgewicht nach oben gehalten. Auf diese Weise kann an der kombinierten Maschine des weiblichen Urogenitalorgans im Beckenring die kinetische Energie des Blaseninhaltes zur potenziellen Energie umgewandelt und als elastische Spannkraft im einarmigen Uterushebel aufgespeichert werden. Sie findet ihre Verwendung bei der dritten Beckenformierung, die daher nur beim weiblichen Geschlecht zu finden ist. Und dies hinwiederum nur beim Menschen. Denn diesem Genus allein haben wir den Vorteil der Blasensenkung zugeschrieben.

Es sind also vor allem **zwei wichtige morphogenetische Erscheinungen kausal als Folge der Hydrodynamik des Blaseninhaltes gut zu schreiben:** L.S.78.

a) die **einfache Ausweitung des Beckenringes** durch den Druck der Blasenkugel allein, (zweite Formierung) beim juvenilen Becken beider Geschlechter.

b) die **verstärkte Ausweitung** (dritte Formierung) **beim weiblichen Beckentypus,** ermöglicht durch das Heranbilden eines kombinierten maschinellen Urogenitalapparates beim Weibe zur Zeit seiner geschlechtlichen Entwicklung.

Damit glauben wir uns auf einen einheitlichen, mechanistisch wie entwicklungsgeschichtlich haltbaren Boden gestellt und zu einer Anschauung emporgearbeitet zu haben, mit der alle bisher bekannten Erscheinungen in Formbildung und Funktion vereinbar sind. Die Haltbarkeit unserer Hypothese zu beweisen, fällt auch nicht schwer an Hand der durch die Analyse der weiblichen Beckenform gewonnenen Resultate. Unumstößlich wird der Beweis, wenn es auf praktischem Wege gelingt, die zurückgebliebene geschlechtliche dritte Formierung durch Kräftigung des Genitalapparates künstlich herbeizuführen, wie uns dies in der Tat auch wiederholt und in nicht zu beanstandender Weise gelungen ist.*)

Wenn der oben ausgesprochene Schluß, die im Naturgesetz der Pubospinalebene niedergelegten Bestimmungen seien nur als Teilerscheinungen eines ganzen, großen mathematischen Systems aufzufassen, das dem männlichen Beckenbau zugrunde liegt, wenn dieser Schluß wirklich richtig ist, so müßte man logischerweise annehmen, daß das mathematische System, das ja das MEYERsche Naturgesetz in gleichem Maße für beide Geschlechter aufstellt, ebenso gut auch beim weiblichen Geschlecht zu finden sei.

So scharf diese Logik auch sein möchte — wer hätte es bis jetzt für möglich gehalten, daß zwei so verschiedene Typenformen, wie das männliche und das weibliche Becken es sind, auf ein gemeinsames mathematisches Bausystem zurückgeführt werden könnten.

Obgleich das absolute Grundmaß (b) der beiden analysierten Beckentypen ein verschiedenes war (männlich = 13,5 cm, weiblich = 13,75 cm), so ließ sich doch in der Tat sehr bald eine gewisse Übereinkunft desselben darin konstatieren, daß bei der Projektion auf die Medianebene (Taf. X) zwei Fixpunkte wieder genau dieselben Ordinatenwerte hatten. Es sind dies der Spinalpunkt (G) und der Lotpunkt (Z) des Tiefstpunktes E an der Kreuzbeinsymphyse EF.

Durch die Bestimmung der drei Ordinatenpunkte O, G und Z war der statische Kreis mit seinem eingeschriebenen regelrechten Viereck bereits gegeben. Seine Peripherie geht wieder durch G, den O-Punkt und den Fußpunkt $e'' - Z$, nachdem sich herausgestellt hat, daß

$$OG = OZ = 13{,}75 \text{ cm} = b \text{ sei.}$$

*) Siehe Zeitschr. f. Geb. u. Gyn. 1916. Bd. LXXIX, S. 204.

Der vierte Eckpunkt dieses Quadrates K freilich, der männlicherseits (K) auf den Endpunkt der Columna spinalis fällt, läßt sich weiblicherseits wohl konstruieren, liegt hier aber etwas höher oben am Verstärkungsgrat der Wirbelsäule. Mit andern Worten: Der Tiefstpunkt der Columna spinalis hat sich beim weiblichen Typus um ca. 1,5 cm nach hinten unten verschoben (Tafel X, K—K). Wichtiger aber ist, daß auch ein anderer hervorragender Fixpunkt seine relative Lage zum statischen Viereck und damit auch zum O-Punkt des Ordinatensystems geändert hat. Es ist das der Lagepunkt der Drehachse selber, die beim Weibe aus dem Zentrum des statischen Kreises heraustritt und weiter vorne und oben am Beckenring zu suchen ist. Man ist daher berechtigt die Frage aufzuwerfen, ob der gefundene Kreis wirklich noch den Namen „statisch-formerhaltender Kreis" verdiene.

Die weibliche Drehachse Π liegt quer senkrecht über dem Scheitelpunkt des Arcus pubis (A). Diesen letztern Punkt aber ermitteln wir folgendermaßen:

Der Scheitelpunkt A des Arcus pubis bildet auf der Medianprojektion den Schnittpunkt der Spuren der Symphysen- und Beckenbodenebene. Während nun beim männlichen Typus diese beiden Ebenen unter sich rechtwinklig verschränkt sind (90° Öffnungswinkel), so zeigt die weibliche Beckenform auch in der gegenseitigen Lage dieser Ebenen zueinander einen wesentlich andern Typus.

L.S. 79. **Der Öffnungs- oder Spreizwinkel ist beim Weibe größer als 90°. Die beiden Winkelschenkel aber zeigen im Prinzip gleiche Neigung zur horizontalen Beckenbasis.** Die Fortsetzung ihrer Spuren auf Γ_1 unterhalb ihres Schnittpunktes A bilden also zusammen mit dem zugehörigen Basisabschnitt das gleichschenklige Basisdreieck, so daß A senkrecht über die Mitte seiner Basis zu liegen kommt. Wenn nun die Analyse herausgestellt hat, daß der Drehpunkt Π senkrecht über A steht und damit über die Mitte des Basisdreieckes zu liegen kommt, so können wir doch damit seine Höhenlage über A noch nicht benennen.

Aus einer Anzahl weiterer Korrelationen der Beckenfixpunkte unter sich ergibt sich indes bald ein neues mathematisches System, das auf den ersten Blick hin komplizierter erscheint als dasjenige, das wir beim männlichen Typus gefunden haben, — ein System aber, das sich in der Folge nur als Modifikation des letzteren herausgestellt hat.

Zwei gerade Spurlinien zielen nämlich beim weiblichen Becken nach dem O-Punkt unseres Ordinatensystems hin. Es sind dies die Verlängerung der Beckenbodenebene (EA) und dann diejenige des Lotes T, das wir auf der Mitte der innern Symphysenebene AB errichten. Das letztere geht zugleich in seiner Verlängerung noch oben durch den Pivotpunkt J des Lendenknicks.

Auch die Basislinie (OL) des gleichschenkligen Basisdreiecks scheint in einem ganz bestimmten und unwandelbaren Verhältnis zur ganzen Beckenbasis $OZ = b$ zu stehen $(OZ) = b = (OG)$. So bekommt man den zweiten formbildenden Kreis, der sich an die vertikalstehende Pubospinalebene und an die vordere Seite des Beckenviereckes in derselben Weise anlehnt und sich genau so verhält, wie der M-Kreis des männlichen Typus zur horizontalen Quadratseite a. Auch das relative Verhältnis der beiden Kreise von P und Φ ist gleich wie beim männlichen Typus, denn es ist wieder

$$\frac{R_p}{R_\varphi} = \sqrt{2} \cdot \sin 60^\circ = 1{,}2246 = k \text{ (konstant)}.$$

Diese Übereinstimmung in der Baukonstruktion zweier gänzlich voneinander unabhängigen Beckentypen muß stutzig machen — zweier Beckenindividuen, die zudem zwei verschiedenen Geschlechtern angehören und nur das eine gemeinsam haben: die Zugehörigkeit zur Spezies homo.

Faßt man das bei beiden Geschlechtstypen gewonnene mathematische System vergleichsweise ins Auge, so geht daraus hervor, daß die mathematischen Verhältnisse — rein geometrisch genommen — bei beiden Typen gleich sind, indem sie sich auf der konstanten Verhältniszahl φ zweier Kreise aufbauen.

$$\varphi = \frac{R_p}{R_m} \text{ männlich } = \frac{R_p}{R_\varphi} \text{ weiblich.}$$

Nur die gegenseitige Aneinanderlagerung der beiden Kreise ist bei beiden Geschlechtstypen verschieden, sobald wir sie unter Rücksichtnahme der Vertikalebene, d. h. der Richtungslinie der Schwerkraft betrachten.

Statisch genommen sind also die Korrelationen der beiden Kreise bei beiden Geschlechtern verschieden.

Das Bausystem des menschlichen Beckens und — wie wir glauben nun wohl schon jetzt sagen zu dürfen — **des ganzen menschlichen Körperbaues ist also für beide Geschlechtstypen geometrisch gleich, grapho-statisch aber modifiziert.** L. S. 80.

Was wir unter dem Begriff „geometrisch" zu verstehen haben, darf aber nicht mißdeutet werden. Es sind ja nicht etwa die äußern Formen selber darunter zu verstehen, ja nicht einmal die geometrischen Proportionen analoger Teile, Linien und Maße, sondern lediglich das konstante Verhältnis eines innern formbildenden Faktors zum formerhaltenden äußern. Oder wenn wir uns noch deutlicher aber freier ausdrücken wollen: Das Festigkeitsmodul der Körpersubstanz ist bei beiden Geschlechtern dem äußern Drucke gegenüber dasselbe, nicht so aber ihre mechanisch-statische Anordnung. Das Weib weist trotz der großen Ähnlichkeit im Aufbau des Körpers andere statische Verhältnise auf als der Mann; das geht deutlich aus dem Konstruktionsprinzip der Beckengürtel beider Geschlechter hervor.

Dieser Satz findet seine Erklärung und Bestätigung in zwei Punkten, die bereits erwähnt sind.

Morphogenetisch verschieden in der mechano-dynamischen Anlage sind beide Geschlechtertypen durch die Entwicklung einer neuen Kraftanlage im elastischen einarmigen Uterushebel beim geschlechtsreifen Weibe, sowie durch die konsekutiverweise auftretende Ausweitung und Verschiebung des Schwerpunktes durch die Verlagerung der statischen Drehachse im weiblichen Beckenring nach vorne und oben.

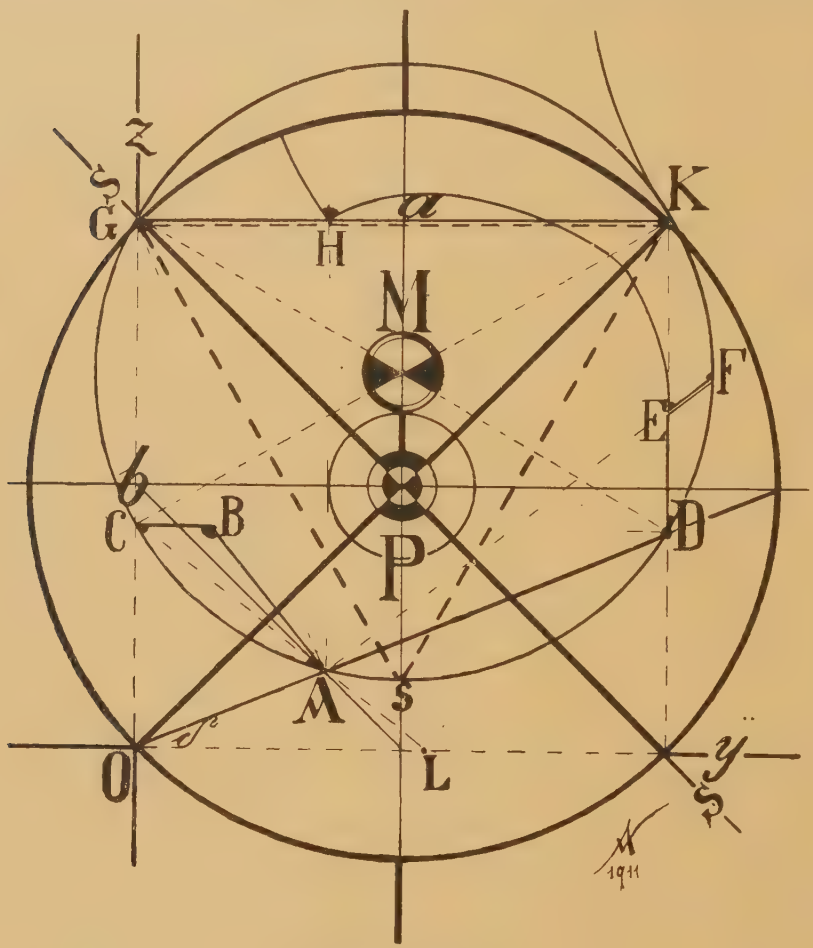
Das scheint so zustande zu kommen:

Zur Ausweitung des juvenil weiblichen (und ausgewachsenen männlichen) Beckens genügt die hydrodynamische Kraft der gesenkten Blasenkugel. Beim Weibe kommt nach der Pubertät noch die Wirkung des gekräftigten Uterushebels hinzu, welcher die Ausnutzung jener Kräfte zum Teil noch direkt erhöht und zum Teil nach anderer Richtung hin entfaltet. Beide Momente führen zu jener maximalen Spannung des Beckenringes, die wir als dritte Formierung bezeichnet haben und die daher nur eine eingeschlechtig-weibliche sein kann.

Das Beckendach, vorzugsweise das obere Ende der Rafenlinie wird gehoben, und durch Abrundung des Kreuzbeins nach hinten oben Raum gewonnen, der Beckenringdurchmesser nach allen Seiten hin vergrößert, die Symphysenebene zugleich nach unten und vorne verschoben, was durch Vergleichung der Fixpunktlagen am männlichen und weiblichen Typus genau festgestellt werden kann. Der Spreizwinkel wächst von 90° auf 116° (s. Fig. 94 und 95).

So umgestaltet muß der weibliche Organismus beim Menschen in seiner funktionellen Anlage höher bewertet werden als der männliche. Er ist es nicht etwa bloß in bezug auf

seine germinative Tätigkeit, sondern in erster Linie auch in Hinsicht auf die eigene Formausbildung selber. Wenn aber die Wirkung der vervollkommneten Urogenitalanlage des Weibes in der Folge auch der Fruchtentwicklung zugute kommt, so ist dieser Vorgang rein



Figur 114a.
Das mechano-statische Achsen- und Figurensystem der Medianebene Γ_1 beim *männlichen* Becken.

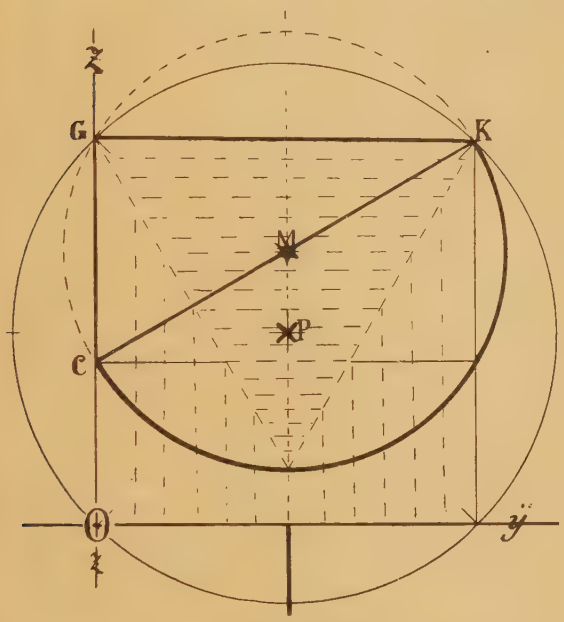
SS = Seelen- oder Hauptachse, OK = Stützachse, P, Lagepunkt der Dreh- oder Balancierachse = Zentrum des statischen Kreises, M = Zentrum des mechanischen formbildenden Kreises. Beckenpunkte $ABCDLPGHKL$ wie auf Tafel I und II. Typus der rechtwinkligen Verschränkung dreier gleichlanger Achsen.

sekundärer Natur. Wir kommen später bei der Betrachtung der Wechselwirkung ontogenetischer und phylogenetischer Prozesse nochmals darauf zu sprechen.

Sobald sich aber eine vermehrte Kraftentfaltung des kombinierten weiblichen Urogenitalapparates durch Ausweitung des vorher im statischen Gleichgewicht befindlichen Beckenringes geltend macht, so werden dadurch auch die Endpunkte seines Stützapparates, die Zentren der Oberschenkelköpfe voneinander entfernt, die noch bei der jugendlichen weib-

lichen Form direkt von der Seite her in den Ring hineingegraben waren. Eine Verlängerung der Drehachse paßt aber nicht mehr zum System der juvenilen Form mit den gleich langen Achsen. Das Gleichgewicht des Systems ist gestört. Es muß daher von der Natur eine andre statische Lösung gesucht werden.

Schon aus der Darstellung der männlichen Form auf die Ebene ihrer Stützachse (Tafel VI) haben wir den wahren Kipptypus und seine Balancierstatik kennen gelernt. Da dem jugendlichen weiblichen Beckenring nun derselbe Typus, aber auch zugleich eine gewisse Widerstandskraft gegenüber dem äußern Druck bereits zukommt, so setzen sich bei Beginn der vermehrten innern Spannung neuerdings Innen- und Außendruck in Ausgleich. Als direkte Folge davon erkennen wir das Wandern der Oberschenkelköpfe am Beckenring nach vorne und oben. Wir finden nämlich beim weiblichen Becken die Acetabula nicht mehr wie bei der juvenilen und männlichen Form rein seitwärts gestellt, sondern höher oben am Beckenring und mehr nach vorne gerichtet. Die „Kippmanier der Bessemer-Stahlbirne" macht sich dadurch beim Weibe in weit höherem Maße geltend als beim Manne. Das vollendete weibliche Becken schwebt weit mehr von hinten her über die Femurköpfe gestülpt.



Figur 114b.
Der statisch-formerhaltende *P*-Kreis in seiner Korrelation zum mechanisch-formbildenden *M*-Kreis beim *männlichen* Beckentypus.

Da die mechanische Drehachse nun nicht mehr gleiche Länge hat wie die beiden andern Beckenachsen, sondern kürzer geworden ist, so liegen nun die Endpunkte der drei Achsen auch nicht mehr im Umfang einer ideellen Kugel.

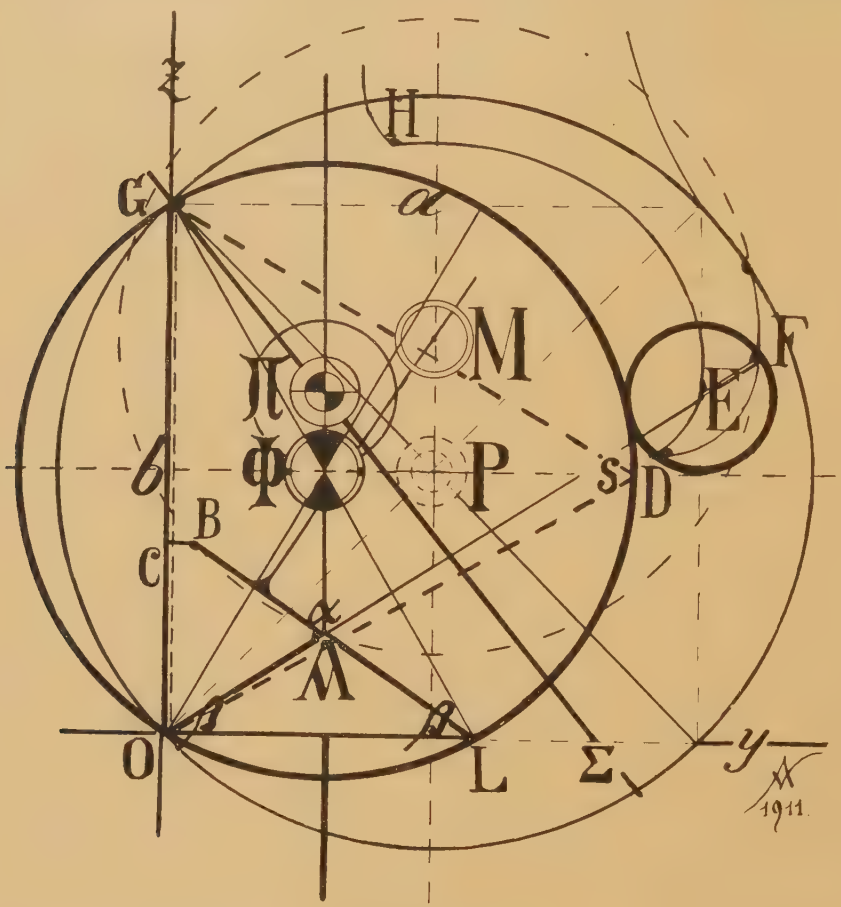
Die Gleichgewichtslage des weiblichen Beckens ist damit eine völlig andere geworden. Das hat weiterhin zur Folge, daß auch die Ruhestellung der Oberschenkel zum Beckenring eine ganz andere geworden ist, als sie früher beim Mädchen war und zeitlebens beim Manne bleibt. Hier finden wir in der Ruhestellung die Schaftachse des Femur viel senkrechter gestellt und nach dem Pivot des Lendenknicks *J* hingerichtet, beim Weibe aber tiefer nach dem Endpunkte des Verstärkungsgrates *K* der Wirbelsäule hinzielend.

Damit sind auch die vermehrte Innenrotation und Beugestellung der Schenkel, die vermehrte X-Beinstellung wie die erhöhte Spitzfußstellung beim erwachsenen Mädchen in Verbindung zu bringen.

Erst jetzt hat das Mädchen die für seine Art spezifischen Körpereigentümlichkeiten erlangt. Alle bisher angeführten Entwicklungsvorgänge sind daher noch als der Ontogenese zugehörig zu betrachten gewesen.

Stellen wir zur bessern Übersicht die genauen Resultate der Analyse des männlichen und des weiblichen Beckentypus an Hand von Figur 114a, b und 115a, b einander vergleichend gegenüber.

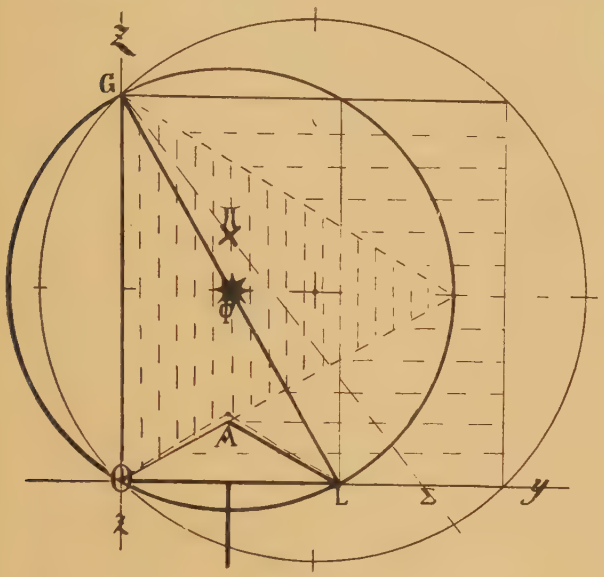
Beide Typen beruhen gemeinsam auf der geometrischen Funktion zweier ungleich großer Kreise, welche in ihrer gegenseitigen Anlage so angeordnet sind, daß sie sich gegenseitig durchschneiden, und so, daß die gemeinsame Sehne zwischen den Schnittpunkten der beiden Kreise im kleinen (*M*- und *Φ*-) Kreis Seite des eingeschriebenen regelmäßigen Drei-



Figur 115a.
Das funktionelle mechano-statische Achsen- und Figurensystem der Medianebene Γ_1, beim *weiblichen* Becken.
$G\Sigma$ = Hauptachse, Φ = Zentrum des formerweiternden Kreises, Π = Lage der gewanderten Drehachse. *ABCDEFGHL* Beckenprojektionspunkte wie auf Tafel VIII und IX.
Typus des gleichschenkligen Basisdreieckes *OLA*.

eckes, im größern *P*-Kreis Seite des eingeschriebenen Quadrates wird. Beide Typen beruhen also konstruktionell auf der gleichen geometrischen Funktion eines (formbildenden) gleichseitigen Dreieckes und eines (formerhaltenden) gleichseitigen Viereckes von derselben Seitenlänge. In der gegenseitigen Anordnung dieser regelmäßigen beiden Figuren aber, d. h. unter Rücksichtnahme auf die Schwergewichtslinie, das ist in der statischen Funktion jedoch verhalten sich die beiden Geschlechtstypen der menschlichen Beckenform verschieden. Männlicherseits sitzt die gemeinsame Figurenseite

oben horizontal, weiblicherseits aber vorne vertikal. Dadurch kommt der Schwerpunkt *M* männlicherseits senkrecht über den Drehpunkt *P* zu liegen. Das männliche Becken steht also im labilen Gleichgewicht. Weiblicherseits kommt der Schwerpunkt *Φ* senkrecht unter den Drehpunkt *Π* zu liegen (stabiles Gleichgewicht).



Figur 115b.

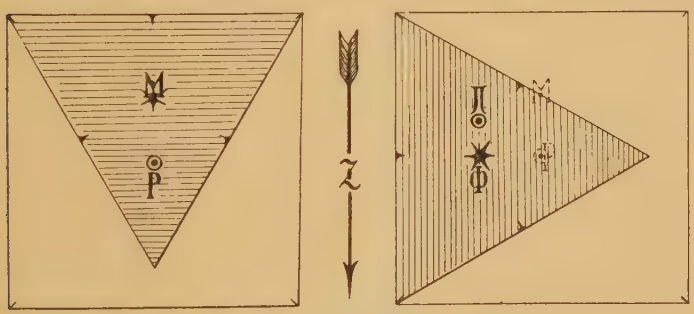
Der statisch-formerhaltende Kreis in seiner Korrelation zum mechanisch-formbildenden (formerweiternden) *Φ*-Kreise beim *weiblichen* Beckentypus.

Das männliche Becken steht also in labiler, das weibliche in stabiler Gleichgewichtslage. Beide Beckentypen beruhen konstruktionell auf der gleichen geometrischen Funktion, haben aber trotzdem eine andere statische Funktion. (Fig. 116.) L. S. 81.

Von der Richtigkeit unserer Deduktionen kann sich ein jeder mit Leichtigkeit durch das folgende einfache Experiment überzeugen.

Experiment XIII. **Exp. XIII.**

Man schneide aus einem mittelstarken Karton von gleichmäßiger Dicke ein gleichseitiges Dreieck von der Seitenlänge *b*, das man auf ein quadratförmig zugeschnittenes dünnes Blatt von derselben Seitenlänge *b* klebt, ermittle geometrisch die Schwerpunkte des Dreiecks (*M*) und des Vierecks (*P*) und stecke durch den Drehpunkt *P* eine Stecknadel, so ist das Ganze bei Vertikallage des Blattes im statischen Gleichgewicht, sobald die eine Dreieckseite horizontal steht (männlicher Typus).



männlich = labil Figur 116. *weiblich = stabil*

Statische Gleichgewichtslage des gleichseitigen Dreiecks bei wechselnder Stellung zur Vertikalen. *P* und *Π* Aufhängepunkte, *M* und *Φ* Schwerpunkte. *Z* Richtung der Schwergewichtslinie.

Stellen wir diese aber vertikal, so müssen wir den Drehpunkt (Stützpunkt) verlagern in der Weise, daß wir die Stecknadel von *P* entfernen und sie senkrecht über den Schwerpunkt (*Φ*) des Dreiecks in *Π* einstecken (weiblicher Typus). (Fig. 116).

6. *Die Topographie des menschlichen Beckenendes im Lichte des dynamo-mechanischen und statischen Systems.* (Hierzu Tafel XVI *m, f*).

Ich glaube, die Verhältnisse in Bau, Konstruktion und Funktion der untern Rumpfpartien des Menschen nicht besser weiter beleuchten zu können, als wenn ich versuche, die

topographische Anatomie in den Rahmen unseres gefundenen mathematischen Systems einzuzeichnen.

Ich benutze dazu die Bilder aus hervorragenden Atlanten (CORNING und SPALTEHOLZ) von Medianschnitten erwachsener männlicher und weiblicher Beckenorgane und lege darauf die Konstruktions-Linien und -Kreise, wie wir sie aus der Analyse der Form gewonnen haben.

Um aber auch hier im System möglichst wenig trennend vorzugehen, sondern so viel wie möglich übersichtlich zusammenfassend, habe ich eine eigene Farbenskala aufzustellen versucht, in der Hoffnung, daß man mir diese Lizenz in der Kolorierung um so mehr zugute halten werde, als sie das Bild der natürlichen und konventionellen Farbenführung nur wenig verändert.

Lassen wir die wenigen Nerven, die auf dem Medianschnitt in Betracht kommen, beiseite, so sind alle übrigen Formgebilde als Abkömmlinge des mittleren germinativen (REMAK) plastischen Blattes anzusehen. Nach unserer Auffassung ist es ja das Bindegewebe allein mit allen Modifikationen der plastischen Substanz (Sehnen, Faszien, Muskel; Knorpel und Knochensubstanz), die hier zur Darstellung gelangen.

Dieses Bindegewebe bezeichnen wir mit der Farbe: Gelb (Bindegewebe, Faszien, Fettgewebe, Bekleidungsendothel), seine Modifikationen nach der Seite der statischen Versteifung hin (Knorpel- und Knochengewebe) mit Abtönung ins Bräunliche, diejenigen nach der Seite vermehrter Elastizität hinneigenden mit Rot, während die Gewebe, welche vorzugsweise flüssige Protoplasmasubstanz (Blut) bergen, eine Abtönung ins Blaue erhalten (kavernöses Gewebe, Gefäße). — Der Epithelüberzug ist schwarz gehalten.

Das Ganze überblicken wir so als ein Teilstück am Beckenende der menschlichen Stammform, als das unterste Stück der Rumpfwand samt den damit organisch verbundenen Eingeweiden.

a) Topographische und funktionelle Bezirke der ausgewachsenen männlichen Beckenendform auf dem Medianschnitt.

Die rein median ovaläre Durchschnittsfigur durch den Symphysenknorpel wird in der Form ergänzt durch die Projektionsform, welche die seitliche Projektion des Os pubis auf die Medianebene wirft. Der so verstärkte Durchschnitt der männlichen Symphyse hat Dreiecksgestalt mit direkt nach oben stehenden Seitenlinien CB und einer nach dem Scheitelpunkt A des Angulus pubis im Lig. arcuatum ausgezogener Spitze A (Fig. 114 und Tafel XVI).

Ähnlich verläuft am hintern Ende der Beckenwandform die verknöcherte Rumpfwandung ausgezogen und vom Os sacrum (EF) über die Steißbeinspitze D hin sich verjüngend in die Beckenbodenfaszie aus, die nach Entfernung der Eingeweide von innen her betrachtet in schönem Bogen von D nach A sich hinzieht.

Das Zentrum dieses Beckenbodenbogens AD ist auf dem Perpendikel zu suchen, das über der Mitte der zugehörigen Geraden AD („Beckenbodenebene") errichtet wird. Es fällt mit M zusammen, dem Schnittpunkt dieses Perpendikels mit dem Lot, das in B errichtet senkrecht auf der innern Symphysenebene AB steht.

M ist das Zentrum des formbildenden M-Kreises, von dem aus die Abrundung der ganzen Endform geleitet wird. Die männliche Beckenbodenfaszie ist an zwei Stellen durchbrochen, um einerseits dem Darmtraktus, anderseits dem Urachusschlauch (Urethra) Verbindung mit der Außenwelt zu gestatten. Bei diesen Austrittsöffnungen legen sich von außen her kreisförmig angeordnete kontraktile Ringe auf die Beckenbodenfaszie auf; es sind die auf dem Durchschnitt erscheinenden Schließmuskeln.

Die Lage der Analöffnung ist gegeben durch die Verbindungsgerade MZ, wo diese die Beckenbodenfaszie durchschneidet.

Die Urethra passiert diese Faszie etwas vor der Vertikalen, welche durch das Zentrum M gelegt wird. Bei ihrem Blasenaustritt liegt sie genau in dieser wichtigen Schwergewichtslinie.

Die Blase selber ist in Tafel XVI in leerem Zustande gezeichnet. Die obere Hälfte ihrer Wandung ist tellerförmig eingesunken, während die untere Hälfte in schönem Halbkreis auf der innern Symphysenebene (AB) und der Beckenbodenebene (AD) aufruht. Der Mittelpunkt dieses Kreisbogens (U_1) kommt auf die Halbierungsgerade AM zu liegen, welche den Winkel (BAD) teilt. Es ist das Zentrum für die Kugelform der Blase, welches dieser bei schwacher Füllung zukommt, sobald ihr Inhalt den obern Teil ihrer Wandung gehoben hat. Bei zunehmender Füllung steigt nun das Kugelzentrum auf der Steiglinie AU_1, die in ihrer Verlängerung durch das formbildende Zentrum M hindurchgeht in die Höhe bis U_2, wo es als Zentrum der Maximakugel seinen Höhepunkt erreicht. Denn bei noch stärkerem Füllungsgrad tritt die Blase aus ihrer Kugelform heraus, da ihre Spitze bereits in die freie Bauchhöhle hineinragt, wo sie weniger Widerstand findet. Sie geht nach vorne oben in die Eiform, bei noch stärkerer Füllung gar in die verkehrte Eiform über, stets vom geglätteten Bindegewebsüberzuge, dem Peritoneum, bedeckt. In der dynamischen formbildenden Wirkung aber bleibt der untere Teil der Eiform als Kugel bestehen.

Da die Zentren U_1 bis U_2 auf der Halbierungsgeraden AM liegen müssen, so tangiert die Blasenwand bei jedem Füllungsgrad die beiden Beckenbodenebenen AB und AD, wobei die mathematischen Tangierungspunkte mit wachsender Füllung der Blase sich vom Scheitelpunkt A entfernen. Doch beträgt diese Verschiebung der Berührungspunkte nur ca. 1,25 cm.

Für die Beurteilung der Lage jenes Punktes, wo die Ausmündung der Blase gesucht werden muß, sind diese Verhältnisse nicht unwichtig. Es entspricht nämlich nicht etwa der tiefstliegende Punkt der Blasenkugel auch dem Blasenhals, sondern wie bereits betont, derjenige, der vertikal unter dem mechanischen Zentrum M liegt und zugleich zwischen die beiden Berührungspunkte der Blasenperipherie mit der Beckenbodenebene zu liegen kommt, jedoch näher dem hintern Tangentialpunkte bleibt.

Der an dieser Stelle liegende Blasengrund verschiebt sich mit wachsender Füllung des Organs am wenigsten. Die im Bogen nach ihm hin verlaufende männliche Harnröhre mündet also von hinten unten her in die Blasenwand ein und nimmt jeweils die Richtung nach dem herrschenden Kugelzentrum hin. Der weitere Verlauf der Urethra und die Konstruktion ihrer Pars membranacea sind in der Figur nachzusuchen.

Bei der Erectio penis kommt es zu Formveränderungen in diesen Partien durch Füllung der Corpora cavernosa. Damit werden auch diese Partien versteift, der Fundus vesicae mit Unterstützung und Hilfe von Beckenbodenkontraktionen soweit in die Höhe gehoben, bis die Mündung der Samenbläschen über die Ebene des Beckenbodens gebracht wird, wodurch eine ähnliche mechanische Saug- und Druckwirkung zustande kommt wie beim Weibe — ein Vorgang, für den man bislang ohne Kenntnis einer Funktion der geometrischen Beckenbodenebene sich eine richtige physikalische Vorstellung nicht hat machen können.

Die Beckenbodenebene nämlich ist eine Zone des mechanischen Gleichgewichts. Was unterhalb dieser Zone ist, wird durch Kontraktion der Beckenbodenmuskulatur nach oben geworfen, was beweglich oberhalb der Ebene liegt, fällt durch eigne Schwere oder durch den Druck der Bauchmuskulatur auf sie nieder. Den strikten Beweis für die Richtigkeit dieser Auffassung liefert außer der Lage der Urinblase weiterhin das

Vorhandensein der Plica transversa coli, welche als Ziehharmonikafalte auch im Darmrohr Lage und Richtung der Beckenbodenebene angibt. Bis zu ihr hin reichen auch am Rectum die längsgestellten Fasern des Levator ani; oberhalb dieser Querfalte käme ihnen eine funktionelle Wirkung nicht mehr zu; wir finden sie daher dort durch Ringfasern ersetzt.

Faßt man so die Beckenfaszie als Teilstück der Rumpfwand auf, in die sich das versteifende Beckenrohr einsetzt, während anderseits ihre Muskeln (Levator ani, Sphincter ani) als die Verstärkung ihres natürlichen Elastizitätsvermögens aufgefaßt werden, so ist derjenige Teil des Levator ani, der sich als Längsfaserzug vom Beckenboden auf das Darmrohr hinaufschlägt, anzusehen als Abkömmling jenes Teils der plasmatischen Substanz, die genetisch als Bindegewebe am Darmrohr hängen geblieben ist.

Diese Auffassungsweise paßt in ähnlicher Weise auch für alle weitern muskulären und kontraktilen Gebilde, die wir in der Stammeshöhle selber finden. Das genetisch Primäre und Bestimmende für Form und Funktion der Baucheingeweide ist das Epithelrohr, das den Rumpf von der Mund- bis zur Analöffnung durchzieht. Die daran hängen bleibenden Partikelchen plasmatischer Substanz werden von sich aus nach den Bedürfnissen von Experiment IV und nach der Art der funktionellen Tätigkeit des betreffenden Rohrabschnittes modifiziert und organisiert.

Topographisch ist die Drehachse P männlicherseits direkt unter dem formbildenden Zentrum M des Beckenendes zu suchen (Fig. 114).

b) Topographische und funktionelle Bezirke des weiblichen Beckenendes auf dem Medianschnitt.

Prinzipiell unterscheidet sich das Beckenende des weiblichen Individuums vom männlichen durch die Einlagerung eines neuen Eingeweideschlauches zwischen das Urachusrohr und das Darmrohr. Es ist dies der weibliche Genitaltraktus, der indes genetisch schon wie auch späterhin mechanisch und funktionell sich viel mehr zum ersten hingezogen fühlt als zum Rectum.

Wir geben in der bildlichen Darstellung (Tafel XVI*f*) wieder dieselbe Farbenskala wie oben. Für die epithelialen Gebilde Schwarz, für die plasmatische Substanz und ihre histologischen Modifikationen: Gelb mit Abtönungen gegen Rot, Braun und Blau. Die Topographie ist wieder den besten anatomischen Atlanten entnommen und mit dem mathematischen System des Beckenbaues in Einklang gebracht.

Was die allgemeine Form des weiblichen Beckenendes anbetrifft, so finden wir dasselbe nicht mehr so schön abgerundet wie beim Mann, sondern auf dem Medianschnitt geradezu breitgedrückt, abgeflacht. Es ist das die natürliche Folge der Einlagerung jenes dritten Schlauches, des weiblichen Genitaltraktus zwischen Blase und Rectum. Die dadurch erzeugte vermehrte Spannung im untersten Abschnitt des Rumpfes hat außer einer topographischen Verlagerung der Teile, die sich nach unserm Orientierungssystem ebenfalls sehr schön verfolgen läßt, zwei wesentliche Veränderungen des Skelettes im Gefolge, nämlich

1. steilere Stellung des Beckenringes (Tafel X),
2. vermehrten Anzug des Kaudalteiles der Wirbelsäule (Steißbein) nach vorne.

Wie das letztere Moment infolge vermehrter Spannung zustande kommt, ist ohne weiteres klar; nicht so die vermehrte Steilstellung des Beckenringes. Doch ist sie bei näherem Zusehen die natürliche unausbleibliche Folge einer stärkern Spreizung des Öffnungswinkels BAE, die ihrerseits eintreten muß, sobald eine neue, ausweitende Kraft innerhalb der Winkelschenkel BA und AE auftritt (Fig. 57, 91, 96).

Die Blasenkugel kommt topographisch so zu liegen, daß der Fundus wieder auf den beiden Ebenen des Beckenendes der Symphysenebene (AB) und der Beckenbodenebene (AE) aufliegt. Die Spurlinien AB und AE sind aber die verlängerten Schenkel des gleichseitigen Basisdreieckes, das seine Spitze am Scheitelpunkt des Arcus pubis, seine beiden andern Endpunkte im O-Punkt des Ordinatensystems wie am Tiefstpunkt L des Ramus pubis hat. Die Beckenbodenebenen werden wieder von der Peripherie sowohl des größten wie des kleinsten Blasenkreises tangiert. Die Steiglinie $AU_1—U_2$, auf welcher die Zentren dieser Blasenkreise auf- und niedersteigen, steht vertikal, sobald die genannten Spurlinien AB und AE zur Horizontalen gleich geneigt erscheinen.

Der Maximakugel der weiblichen Blase aber kommt ein kleinerer Radius zu als beim männlichen Typus. Es wird dies klar, wenn man den ihr zu Gebote stehenden Raum ins Auge faßt. Durch die beiden Ligg. rotunda, die beiderseits vom interponierten Organ, dem Uterus, abgehen, wird nämlich die Maximakugel rings umfaßt (s. Experiment IX, Fig. 91). Wohl ist der Dreh- und Ansatzpunkt N am Fundus uteri bis zu einem gewissen Grade frei beweglich, indem ihm die Möglichkeit gegeben ist, auf der Leitlinie TUM nach hinten oben auszuweichen. Die Spannung der Ligamente aber erlaubt ihm dies normalerweise nur höchstens bis zum Punkte M, was bei der Maximakugelform der Blase erreicht wird. In diesem Falle verschwindet der vesico-uterine Raum, und die Vorderfläche des Uterus schmiegt sich sachte und plattgedrückt an die hintere Kugelfläche der Blase an. Bei noch stärkerem Füllungsgrad der letztern entsteht eine deutliche Schnürfurche an der Blasenform durch den Druck der gestreckten Mutterbänder, und der obere Teil der Sanduhrform der Blase tritt in die freie Bauchhöhle hinauf. In gestrecktem Zustande nehmen die runden Mutterbänder die direkte Richtung $IM \,||\, AE$. Die fächerförmige Ausbreitung ihres vordern Endes am Inguinalkanal von ca. $^1/_2$ cm Breite ist durch den genannten funktionellen Lagewechsel ihrer uterinen Ansatzpunkte in ihren Grenzen bestimmt.

Damit ist bereits auch die Exkursionsbreite für die Lage des Fundus uteri normiert und zugleich auch diejenige des beweglichen Drehpunktes für den elastischen Uterushebel. Bei ungestörter und nicht maximal überlasteter Funktion aller Nebenorgane kommt der Cervix uteri mit seinem untern Ende auf die Gleichgewichtsebene AD zu stehen, indem sich die Uterusachse zwischen ihrem Drehpunkt N und dieser Ebene abkrümmt, auf welche die Portio von unten her durch die Kontraktionen des Beckenbodens ebenso zurückgeworfen wird, wie der Fundus der Blase auf AE. Die Kuppe des vordern und hintern Scheidengewölbes ist durch die Spurlinie der beiden Beckenbodenebenen AD und AE bestimmt.

Entsprechend dem veränderten Mechanismus und der alternierenden Funktion beider Ebenen treten in der Regel am Mastdarmrohr zwei Harmonikafalten auf. Was bei der männlichen Form bei der Anlage des Levator ani gesagt worden, gilt indes auch hier. — Die Lage des Afters wird bestimmt durch die Geraden GZ und NZ.

Die Lage des Drehpunktes der Rumpfachse fällt in die vertikale Steiglinie $AU_1—U_2$, also in die Schwergewichtslinie der Blasenkugel, lotrecht über dem Scheitelpunkt A des Arcus pubis. Damit ist auch die dynamische Bedeutung des Blaseninhaltes für Statik und Mechanik genugsam gewürdigt.

Wenn sich im Vorangehenden die Topographie des Medianschnittes mit Leichtigkeit und ohne Zwang in den Rahmen des mathematischen Systems einspannen ließ, und wenn auch diese Zusammenstellung der Formen bereits manch wertvollen Aufschluß gibt über Erscheinungen, die sowohl Formbildung wie Funktion der Organe betreffen, so dürfen wir doch nicht behaupten wollen, das Konstruktionsprinzip des Baues damit gänzlich erfaßt zu haben.

L.S. 82. Eines freilich läßt sich daraus bereits mit Sicherheit konstatieren: **Die Abrundung des Beckenendes der Rumpfform geschieht durch innere Kräfte, unter denen die Energetik und Hydrodynamik des Blaseninhaltes die Hauptrolle spielen.** Der wesentliche Formbildner ist die Kugelgestalt der gefüllten Urinblase, beim Weibe in Verbindung mit dem elastischen Uterushebelapparat. Mit dieser Erkenntnis ist nun freilich schon viel gewonnen. Die Ständertheorie ist damit gründlich abgetan, denn die Formbildung der untern Rumpfpartie erfolgt von innen heraus durch Ausgleichung des innern Druckes mit der Elastizität der Körperwand.

Der Beckenbodenmechanismus des Weibes ist der einer doppelten Federbrücke (s. Fig. 90). Demnach erscheint der Organismus des Weibes in allem als eine vervollkommnete höhere Organisation als der des Mannes. Was das Weib aber an Organisation gewinnt, das geschieht auf Kosten seiner innern Festigkeit. Der so durch Ausgleich all seiner innern Kräfte gegliederte und geformte Organismus tritt nun mit seinem Ballaste gegen außen hin als Einheit auf, und zwar mit einem bestimmten Widerstandskoeffizient gegen den äußern Druck. Der organische Körper verhält sich also auch in dieser Beziehung durchaus analog dem anorganischen, nur mit dem Unterschied, daß dem organischen Widerstandskoeffizient weit mehr Elastizitätsvermögen zukommt, als dem anorganischen. Die genauere Berechnung erfolgt auf Grund der Tangentenkonstruktion.

7. Die physiologische und pathologische Funktion der Beckeneingeweide im Lichte des mathematischen und mechanischen Systems.

Dieser Abschnitt dürfte wohl in der ganzen Arbeit derjenige sein, der den praktischen Arzt am meisten befriedigt. Gibt er ihm doch, der meist jeder philosophischen Abhandlung und Dogmatik abhold, zunächst nur das praktisch Verwendbare einer Arbeit ergreift, neben weitern Beweisen für die Richtigkeit unserer Anschauung zugleich auch wichtige neue Hilfsmittel in die Hand, die er therapeutisch ausnutzen und praktisch verwerten kann. Rein vom Standpunkt des Praktikers ausgehend, sind wir auch seinerzeit an das Studium der Beckenform herangetreten, um den Kausalzusammenhang zwischen männlicher und weiblicher Beckenform einer-, und Form, Lage und Funktion der Beckeneingeweide anderseits klarzulegen. Je länger ich mich aber in dieses Studium vertiefte, um so mehr wurde mir klar, wie unhaltbar und falsch gar viele Vorstellungen über unsere Körperform und -funktion bis anhin gewesen sind und daß man zu neuen Grundauffassungen überzugehen habe, um die operativen Erfolge mit Sicherheit in die Hand zu bekommen. Die praktischen Dauererfolge, die ich in jahrzehntelang geübter gynäkologischer Praxis mit einfachsten Hilfsmitteln erzielte, haben mir recht gegeben. Darin ist der praktische Wert dieser Arbeit zu suchen (siehe Vortr. in der Schweiz. Gyn. Ges. St. Gallen 1915. Gyn. Helv. XVI, p. 86 und Zürich, 1921, Über „Attentio uteri usw." Schwz. med. W, 1922. 12. S. 304).

Wenn wir im Titel dieses Abschnittes von physiologischer und pathologischer Funktion, von einem mathematischen und einem mechanischen System gesprochen haben, so sollen hier noch einige erläuternde Erklärungen über diese Begriffe vorausgehen.

Der Ausdruck „Funktion" sollte inskünftig in jedem Falle — auch physiologisch wie pathologisch genommen — nur noch im Sinne des Mathematikers gebraucht werden. Die mathematische Definition für den Begriff „Funktion" lautet*): „Wenn zwei Größen derart voneinander abhängen, daß zu jedem Wert der einen ein bestimmter Wert der andern gehört, so nennt man die eine Größe eine Funktion der andern."

*) H. A. LORENZ, Lehrbuch der Differential- und Integralrechnung. II. Aufl. 1907. A. Barth.

Nun ist nach unserer Auffassungsweise jeder mechanisch-physiologische Vorgang nichts anderes mehr als ein mechanisch-physikalischer Akt an einem spezifisch gebauten organischen Material ausgeführt.

Sobald nun der mathematische Begriff der Funktion auch physikalisch verwendbar ist, so muß er es auch logischerweise physiologisch und bei gestörten Verhältnissen selbst pathologischerseits sein, sobald wir nur imstande sind, die voneinander abhängigen meßbaren Größen zu eruieren. Dabei spielt immer die eine die Rolle der „unabhängigen", die andere die der „abhängigen Größe".

Es ist schon im vorhergehenden Kapitel in der „Topographie der Beckenorgane" darauf hingewiesen worden, daß die Beckenbodenebene als eine Gleichgewichtsebene aufgefaßt werden müsse, welche im Mastdarmlumen durch die Lage der Plica transversa angedeutet ist, und auf der beim Manne mit dem einen Tangentialpunkt die Urinblase aufliegt, während beim Weibe die Blase und die Unterfläche des Cervix uteri darauf zu liegen kommen.

Ein Punkt wäre hier noch spezieller hervorzuheben, den ich mehrfach schon anderwärts auszuführen Gelegenheit hatte: ich meine den Unterschied im Mechanismus des Beckenbodens beim Mann und beim Weibe.*)

Da beim Manne das Steißbein in der Symphysis sacro-coccygea viel fester und straffer mit dem Kreuzbein verbunden und auch in seinen eigenen Zwischengelenken stabiler bleibt, so muß dieses Steißbein hier noch als der unterste Teil der festen Wirbelsäule aufgefaßt werden. Der elastische Beckenboden setzt sich also vorne durch das Lig. triangulare an den Winkel *A* des Angulus pubis und hinten an die Spitze *D* des Steißbeines an. Sein Mechanismus ist hier somit als derjenige der einfachen elastischen Federbrücke aufzufassen mit teilweise drehbaren Widerlagern in den Endpunkten *A* und *D* (Fig. 49).

Beim weiblichen Beckentypus dagegen finden wir das Steißbein infolge der vermehrten Beckenspannung nach vorne angezogen und in seinen synchondrischen Verbindungen, wie in der Steißbeinkreuzbeinfuge wesentlich gelockert und elastischer wie beweglicher gemacht. Dadurch erhalten wir das Bild eines völlig umgestalteten Mechanismus, nämlich dasjenige der elastischen Doppelfeder, wobei die beiden relativ festen Punkte *A* und *E* durch zwei unter sich ungleich elastische Federn *A D* und *A E* überbrückt werden, die mit einem Scharnier in *D* verbunden sind (Fig. 119). Die Auflager in *A* und *E* sind wieder drehbar, indem der Beckenring in seinen drei Fugen und in seiner Elastizität eine gewisse Beweglichkeit dieser Punkte immer noch gestattet. Das Steißbein mit seiner größern Beweglichkeit nimmt also hier gewissermaßen eine funktionelle Mittelstellung ein zwischen dem relativ unelastischen Kreuzbein einerseits und dem elastischen Beckenboden anderseits.

Es kann daher bei starker Spannung im Abdomen der Scharnierpunkt *D* so weit nach außen hin verlegt werden, bis *A E* zu einem Kreissegment wird. Es ist dies namentlich in der Schwangerschaft des Weibes und bei der Geburt der Fall und kann wohl auch pathologischerweise bei Ascites und Tumorenbildung beobachtet werden.

Noch auf einen weitern häufigeren pathologischen Befund beim Weibe kommen wir anschließend hier zu sprechen, der zum Ausgangspunkt unserer Untersuchungen geworden war: auf den gestörten Beckenbodenmechanismus, wie er sich durch Dammrißbildung nach der Geburt einzustellen pflegt. Wir haben ihn in Figur 120 ebenfalls am gebrochenen technisch gebräuchlichen Material in leichtverständlicher Weise wiederzugeben versucht.

---

*) v. ARX, Der Mechanismus des Beckenbodens. Roux's Arch. f. Entw. XXIX, 2, p. 349 ff. und Kongreß d. Deutschen Ges. f. Gyn. München, Verhandlg., p. 583.

Da der Stützpunkt des Uterus, mit dem die Blase verbunden ist, normalerweise in die Mitte des elastischen Beckenbodens fällt und dieser Stützpunkt nach unseren zahlreichen Messungen ca. $1^1/_2$ bis 2 cm hinter die Commissura posterior des Weibes zu liegen kommt, so muß jeder Halt für den gesamten Vesico-Genitalapparat als verloren gelten, sobald ein Dammriß über diesen Punkt hinausgeht.

Die erste Folgeerscheinung ist dann die pathologische Ausbuchtung, die Cystocelenbildung der Urinblase nach hinten unten, indem diese Partie ihren Halt auf der Beckenbodenebene verliert. Sie drängt so die vordere Scheidenwand vor sich her und stülpt sie in die klaffende Vulva vor. Es ist also wieder der beweglichere, weil tropfbar flüssige Inhalt der Urinblase das eigentlich mechanisch treibende Agens, das den Prolaps herbeiführt. Sekundär erst drängt der Uterus nach, wobei ein dreifaches Moment wohl zu berücksichtigen ist. Einmal ist es der direkte Zug vonseiten der prolabierten vordern Scheidenwand. Daß dieser Faktor weit weniger ins Gewicht fällt, als gewöhnlich vom Gynäkologen angenommen wird, beweist der Umstand, daß selbst bei hochgradigen Prolapsen das vordere Scheidengewölbe vielfach noch wohl erhalten ist. Weit wichtiger ist der Verlust des Stützpunktes des Uterus auf der Beckenbodenebene selber, der sich sofort geltend machen muß, sobald der elastische Beckenboden bis über die Hälfte eingerissen ist. Denn damit ist die Gewölbekonstruktion des Beckenbodens funktionell gestört; der Halt des Cervix auf der Beckenbodenebene und damit die Möglichkeit der physiologischen Anteflexionsstellung des Uterus fallen weg. Der Uterus beginnt sich gerade zu stellen und aufzurichten, indem der Druck der lastenden Darmeingeweide jetzt mehr von vorne als von hinten oben zu wirken beginnt. Es kommt zur Aufrichtung, zur Retropositions- und schließlich, jedoch keineswegs immer, zur Retroflexionsstellung des Gebärorgans. Damit ist die Richtung nach dem pathologisch erweiterten Scheideneingang hin erreicht und die Möglichkeit des Vorfalles gegeben, wie dies Figur 98 augenscheinlich darstellt. Erleichtert wird dieser Vorfall offenbar noch dadurch, daß beim Verlust ihrer Kugelgestalt durch den Wegfall der Beckenbodenfunktion auch die Blase ihres natürlichen Haltes verlustig geht und beginnt den Cervix uteri nach unten zu ziehen. Es ist also wieder die hydrodynamische Wirkung des tropfbar flüssigen Blaseninhaltes, die pathologischerweise bei der Prolapsbildung als treibendes Agens in Frage kommt, also wieder ein rein mechanisches Moment.

Der dritte Faktor, der eine Retroflexioversionsstellung des Uterus wesentlich begünstigt, ist der Verlust des normalen Elastizitätsgrades des Gebärorganes durch jeden vermehrten Blutandrang, wie er bei fast allen entzündlichen, pathologischen Vorgängen, Masturbation, Metrididen, Endometriten aller Art, Tumorenbildung usw. nachweisbar ist. Der Uterus, Cervix und Fundus desselben, werden dadurch verdickt, versteift und die physiologische Abbiegungsmöglichkeit in hohem Grade beeinträchtigt.*)

Die Mechano-Analyse dieser Vorgänge ist für die *Therapie des Prolapses* von der allergrößten praktischen Bedeutung. Diese hat vor allem aus ins Auge zu fassen:

1. Wiederherstellung einer normalen Beckenbodenfunktion, wobei nach meiner Erfahrung die Episiorhaphie nach OTTO KÜSTNER**) die besten Dauerresultate liefert.
2. Amputation des verlängerten Cervix (wenn nötig).

---

*) v. ARX, Gynäkol. Helvetica, XVI, 1916, Diskussion, p. 90. — Ebendaselbst, p. 1191. — v. ARX, Über die Ursachen einer natürlichen Lage des Gebärorgans. Volksm. Sammlg. klin. Vorträge, N. F., 210.

**) KÜSTNER, OTTO, Episioplastik. Volksm. Sammlg. klin. Vorträge, Nr. 42.

3. Wiederherstellung der Kugelgestalt der Blase durch Blasenfältelung und Beseitigung des Cystocelenwinkels („Cystocelelevation").*)
4. Wiederherstellung der normalen Elastizität des Uterus durch manuelle Aufrichtung und Spannung des Uterus, die „Attention", die vorzügliche Resultate gibt.

Die heute in der Gynäkologie immer noch viel geübte Pessartherapie wird dadurch überflüssig. Sie wirkt schädlich, weil sie den Afflux nach dem Genitaltraktus eher noch befördert.

Und mit M. KRANTZ**) gehe ich ganz damit einig, wenn er sagt, daß alle funktionellen Störungen in der Genitalsphäre des Weibes auf seine Psyche einen enorm schädigenden Einfluß ausüben, und niemand besser vermag die Abhängigkeit eines normalen Geisteslebens und ungetrübter Arbeitsfreudigkeit von der Genitalsphäre besser zu beurteilen als der Gynäkologe. Die alte Bezeichnung Hysterie (von *ὑστέρον* = Gebärmutter) basiert auf der nämlichen Anschauung.

Gewissermaßen als ein Analogon zu dieser Cystocelenbildung, aber durch entgegengesetzte Mechanik zustande gekommen, finden wir pathologischerweise beim Manne ebenfalls ein Verlustiggehen der Kugelgestalt der Blase durch die Prostatahypertrophie.

Die Prostata, jene harte kastaniengroße Drüse von größter Härte und Konsistenz kommt normalerweise beim Manne im wesentlichen unterhalb der Beckenbodenebene AD zu liegen, bildet also kein Hindernis für die Kugelformbildung der Blase bei zunehmendem Füllungsgrad derselben. Bei ihrer pathologischen Vergrößerung aber wächst sie nach innen oben in den Winkelraum DAE, und zwar zwischen die beiden Blasenradien u_1 und u_2 hinein, welche die Tangentialpunkte des Kugelminimums und -maximums auf der Beckenbodenebene AD mit dem jeweiligen Blasenzentrum U_1 und U_2 verbinden, Tafel XVI *m*. Der Blasenhals wird dadurch nach vorne abgeknickt und oft ventilartig überlagert, so daß man nur mittels abgebogenem Katheter in das Lumen der Blase gelangen kann. Im weitern kommt es zur überhängenden Ausbuchtung des Hinterteils der Blasenwand, was zur Folge hat, daß sich dieser Blasenteil nur unvollständig entleeren kann und daß bei erschwerter Defäkation sich die zwischen Blase und Rektum zusammengedrückten Samenbläschen spontan durch mechanischen Druck entleeren.

Auf einem ganz andern mechanischen Prinzip beruht der physiologische Vorgang der Ejakulation beim geschlechtlichen Akte, welcher die Erectio penis vorausgeht. Wie wir oben schon bei der Darmfunktion jeder muskulären Kontraktion und Innervation der Darmwand für die Erklärung des physiologischen Vorgangs entbehren zu können glaubten, indem wir den Vorgang der Peristaltik rein mechanisch zu erklären vermochten durch einfachen Druck und Gegendruck (siehe Fig. 45), so auch hier bei der *Begattung*.

Die Mündung des Ductus ejaculatorius der Samenbläschen in der Urethra des Mannes kommt nach unserer bildlichen Darstellung Tafel XVI *m* in den Winkelraum zu liegen, den die Beckenbodenebene ARD mit einer andern Ebene $DR'Q$ einschließt, in welcher die Pars membranacea der Urethra verläuft; die Samenbläschen jedoch liegen wohl zur Hälfte noch oberhalb der Beckenbodenebene.

Beim Begattungsakt nun kommen vorzugsweise zwei mechanische Momente in Betracht: Einmal wird durch die Füllung des Bulbus und der Corpora cavernosa die Wurzel des erigierten Penis so nach oben gedrückt, daß sich der Ductus ejaculatorius der Beckenbodenebene nähert. Die Vena dorsalis penis wird komprimiert und dadurch der Abfluß

*) v. ARX, Gynäkol. Helvetica, XVI, 1916, p. 1191; Corr. f. Sch. A. 1896. Nr. 13.

**) KRANTZ, Dr. med. in Barmen, Diagnose und Therapie der nervösen Frauenkrankheiten. Bergmann, Wiesbaden 1899.

aus den Corp. cavernosa verhindert, während der Zufluß des arteriellen Blutes in den dickwandigern und weil seitlich gelegenen mehr geschützten Arteriae dorsalis penis nicht behindert ist. Die folgenden wiederholten Kontraktionen des Beckenbodens wie des M. bulbocavernosus sodann, wie die Rückstöße des Gliedes helfen in gleichem Sinne nach und bringen alle Organteile, die gewöhnlich unterhalb, jedoch in der Nähe der Beckenbodenebene liegen, allmählich auf die Höhe dieser Gleichgewichtsebene hinauf. Durch Hin- und Herbewegen um dieselbe kommen sie aus ihrem Ruhestand heraus. Die Vesiculae seminales, denen selbst keine kontraktilen Wandmomente zukommen, werden sodann nur durch äußere Momente entleert.

In ähnlicher Weise kommt es beim Weibe, weil sein Orificium cervicis ebenfalls auf der Gleichgewichtsebene *AD* aufliegt, zu mechanischen Druckschwankungen während des Geschlechtsaktes. In beiden Fällen handelt es sich mithin um Schwankungen der Geschlechtsorgane bzw. ihrer Mündungen um die Gleichgewichtslage herum. Im einen Falle, männlicherseits, kommt es durch positiven Druck zur Ejakulation, im andern Falle, weiblicherseits, durch negativen zur Saugwirkung. Beiderseits werden also Druckschwankungen in den beiden Abschnitten der Bauchhöhle, ober- und unterhalb der Beckenbodenebene *AD* erzeugt. Dabei tun die Kompression des Thorax bei der Umarmung, Verschlucken von Luft, schwache Atmungsexkursionen usw. bei der Begattung das ihrige, die übrigen Wandungen des Rumpfes möglichst zu stabilisieren, um dadurch der Mechanik der Genitalsphäre eine relativ ausgiebige Funktion zu sichern.

Saug- und Druckfunktionen sind also auch im Organismus stets an das Vorhandensein elastischer bzw. überelastischer, d. h. kontraktorischer Federbrückenkonstruktionen gebunden, indem zwei relativ feste Punkte von elastischen kontraktilen Muskelfaser überbrückt werden (Mundhöhle, Zwerchfell, Bauchdecken, Beckenboden). Selbst die Anlage der Herzkammermuskulatur macht hiervon keine Ausnahme. Auch hier setzen sich die Muskelfasern beider Herzkammern an den relativ unbeweglichen Annulus fibrosus am Ostium der Kammer an.

Was die Entleerungen der Harnblase und des Mastdarmes anbetrifft, so sind auch sie unbestritten primär auf reine Druckwirkung von seiten der Bauch- und Beckenbodenwand zurückzuführen. Auch bei der Ausstoßung der Frucht während der Geburt wird die aktive Tätigkeit der Uterusmuskulatur in der Austreibungsperiode kräftig unterstützt von seiten der Bauchdecken- und Zwerchfellkontraktion. Auf die funktionelle Bedeutung der Plica transversa recti ist oben bei der Topographie (s. S. 282) schon hingewiesen worden.

Wo wir auch in Morphologie, Biologie, Entwicklungsmechanik und Analyse der Körperform hinblicken mögen, überall begegnet man auf Schritt und Tritt einer abwechselnden Anordnung und Kontaktwirkung zwischen relativ festen und relativ elastisch nachgiebigen Gebilden. Schon H. MEYER und H. STRASSER haben auf diese Wechselfolge in der Anlage der Segmente des tierischen Rumpfes hingewiesen. Ja wir müssen sie geradezu als die Grundbedingung der biologischen mechanischen Funktion bezeichnen. Denn wie sollte eine Muskelkontraktion in Wirkung treten können, wenn sie sich nicht an feste Punkte anlehnen oder an einem beweglichen Hebelarm dynamisch ausgenutzt werden könnte? — Sind beide Muskelansätze in ihrer gegenseitigen Lage gleich unbeweglich, so wirkt die Muskelkontraktion raumverkleinernd als elastische Federbrücke oder elastische Schleife. Sie haben die Dislozierung beweglicher Eingeweide oder ihres Inhaltes zur Folge, während die Muskulatur der Extremitäten durch Verstemmung der steifen Extremitätenhebel gegen eine festere Unterlage der Dislokation des Ganzen dienen. Wie sehr aber auch hierbei unsere neuen Anschauungen nach der

Ballontheorie von den bisherigen abweichen, und im Grunde viel einfacher zu belegen sind, darüber siehe unten unter „Lokomotion" (S. 322).

Was aber die Funktion der innern Organe anbetrifft, so gewinnt auch sie im Lichte der Ballontheorie überall an Einfachheit der Erklärung, und der Ausspruch W. GOETHEs: „Man soll nicht nur auf das Nebeneinandersein der Teile sehen, sondern auf ihren lebendigen, wechselseitigen Einfluß, auf ihre Abhängigkeit und Wirkung!" — er erhält durch die Ballontheorie erst recht seine volle Bedeutung.

Die Wechselwirkungen zwischen Thoraxwand, Bauchfell und Zwerchfell und ihre Phasenverschiebungen haben die wichtigste animale Lebensfunktion als eine „Funktion im mathematischen Sinn" erklärt; die Peristaltik entpuppt sich nach dem Experiment ebenfalls als die natürliche Folge von Bauchdecken- und Darmwandelastizität im Kontakt mit ihrem beweglichen Inhalt. Lage, Form und Funktion des männlichen wie des weiblichen Urogenitalapparates sind das Ergebnis der Hydrodynamik des Blaseninhaltes in Korrelation mit Bau und mechano-statischer Funktion des menschlichen Beckenringes und der zunächst daran anschließenden elastischen Segmente der Bauchwand. Diese mechano-statische Funktion ist mathematisch berechenbar geworden aus der Form des Beckenringes.

Die biologische Funktion wird zur physikalischen Funktion, und diese wieder ist abhängig von der Form ebenso gut wie die Schwingungsdauer des Pendels abhängig ist von der Länge desselben. L. S. 83.

Wenn ROHRER*) in seiner Einleitung zu einer allgemeinen theoretischen Morphologie als Grundlage einer theoretischen Biologie vor kurzem noch bezweifelt hat, „daß eine Wissenschaft möglich sei, welche die komplizierten Formverhältnisse biologischer Objekte rein gedanklich untersuchen könne, eine allgemeine Wissenschaft der räumlichen Formen und Strukturen, welche unter Verwendung exakter Darstellungsmittel den Gesamtbereich möglicher beliebig komplexer Formen in systematischer Weise untersucht", so glauben wir schon heute, in der neuen Orientierung, verbunden mit der darstellenden Geometrie und Orthogonalprojektion nicht nur dieses Darstellungsmittel gefunden, sondern mit der Ballontheorie und dem darauf begründeten Prinzip der Selbststeuerung in Form und Kraftwechsel zugleich auch der Wissenschaft die weitgehendsten Perspektiven eröffnet zu haben.

Doch wir kehren nochmals zur Grundform des Stammes, der Spindel, zurück.

Die abwechslungsweise Anordnung von steifen und elastischen Quergurtensegmenten bietet den letztern relativ feste Ansatzpunkte und -linien an den erstern.

Von dieser Anschauung ausgehend, hat man aber beim Aufsuchen des Konstruktionsprinzipes stets das Ganze im Auge zu behalten.

Am Brust- wie am Beckenende der Rumpfform ist das Polsegment je vor und hinter dem Versteifungsring elastisch.

Richtet man nun die ganze Spindelform so auf, daß ihre Längsachse vertikal stehen würde, so würde ein beweglicher, schwerer Inhalt im Innern des Ballons auf das elastische untere Polsegment drücken und dasselbe ungebührlich einseitig belasten. Es käme zur Überdehnung der Form und möglicherweise zum Riß der Ballonwand.

Eine so totale Aufrichtung der Stammesform wird nun in der Stufenreihe der Skelett-Tiere auch beobachtet, namentlich in der Vogelwelt. Ich erinnere nur an verschiedene Eulenarten, Alken, Pinguine usw. Doch haben alle Vögel ein vollkommen anderes Bau-

*) ROHRER, FRITZ, Priv.-Doz., Die Beziehungen zwischen Form und Funktion im Organismus, p. 47. Basel 1919.

prinzip als die Säugetiere. Sie haben auch keinen geschlossenen Beckenring und vor allem keinen flüssigen Blaseninhalt und können so nicht zum Vergleiche herangezogen werden.

Den Säugetieren kommt zumeist eine horizontal liegende Längsachse der Rumpfform zu. Bei den Primaten ist sie bereits aufgerichtet, jedoch niemals dauernd bis zur Vertikalen. Nur dem Menschen hat man bisher die „schöne aufrechtstehende Körpergestalt" beigelegt. Wir bedauern diese Illusion gestört zu haben. Auch beim Menschen steht die Rumpfachse nicht vertikal; sie ist gebrochen, geknickt in Pendelstellung nach rückwärts abgebogen, wie bei keiner andern Spezies! —

Daß der Rumpf auch beim neugebornen Menschen auffallend spindelförmig erscheint mit spitzem Beckenende, darauf ist schon oben hingewiesen worden. Nichtsdestoweniger aber ist am Druckbaum seiner innern Versteifung, am Lendenteil seiner Wirbelsäule jene Knickung vorhanden, die wir als eine Folgeerscheinung des charakteristischen vermehrten Längsdruckes gedeutet haben, und die beim Menschen nur eine Teilerscheinung ist der ersten intrauterinen Beckenformierung. Die Statik des menschlichen Neugebornen ist die denkbar einfachste. Die Spindelform des Rumpfes liegt mit horizontaler Längsachse und mit dem Druckbaum nach unten in der Wiege. Dabei dürfen wir aber keinen Moment des bestehenden innern Lendenknicks uneingedenk sein. (Fig. 52.)

Die Grundidee oder besser gesagt: die Möglichkeit für die Ausbildung des später entwickelten Körperbaues, die Möglichkeit einer sichern Entwicklung zur vervollkommneteren Form mit aufrechtem Gang ist mithin schon in morphologischer Anlage der kindlichen Form vorhanden.

Wir haben mit der Analyse der ausgewachsenen Beckenform die Untersuchung nur an dem einen, hintern Polende der Rumpfform in exakter Weise in Angriff genommen und nehmen willig den Vorwurf der Unvollständigkeit dieser Studie hin. Es kann aber zu unserer Entlastung angeführt werden, daß bei der Spezies „Mensch" das Beckenende der Rumpfform nicht nur vom mechanistischen, sondern auch vom statischen Standpunkte aus weit größeres Interesse verdient, als das vordere, das Brustende derselben. Das geht schon daraus hervor, daß der Beckenring in der spätern Entwicklung des Individuums die einzige Drehachse des aufgerichteten Rumpfes aufnimmt. Daher lassen wir auch im fernern das Brustende noch außer Betracht und bemerken nur, indem wir stets die Rumpfform als Ganzes im Auge behalten, daß wir uns die geometrische Rumpfachse am vordern Spindelpol durch die Mitte der ersten Brustringöffnung, des ersten Rippenpaares gehend zu denken haben.

Durch die intrauterine Abknickung vor und hinter dem Beckenring sind an der Wirbelsäule drei Abschnitte geschaffen worden, deren gegenseitiges Festigkeitsverhältnis infolge der erlittenen Überdehnung an den Bruchstellen unwiederbringlich geschädigt worden. Die drei so bis zu einem gewissen Grade voneinander getrennten Bruchstücke der menschlichen Wirbelsäule sind: 1. das Brustlendenstück, 2. das Ringstück (Os sacrum) und 3. das Kaudalstück (Os coccygeum). Diesen drei Bruchteilen des Druckbaumes müssen naturgemäß auch drei Achsenstücke der Spindelform entsprechen.

Die beiden äußern Bruchteile 1 und 3, d. h. das Brustlenden- und das Steißbeinstück, bleiben zusammen mit dem Halsstück in der Folge die elastischeren, beweglicheren Teile der Wirbelsäule. Sie verknöchern niemals gänzlich wie das beim Kreuzbeinstück der Fall ist. Das Beckengurtsegment als Befestigungsring des Stützapparates erheischt eben eine weit größere Stabilität als der übrige Teil des Druckbaumes, der in höherem Grade elastisch bleiben muß. Wir werden auch hier mit großem Vorteil die ganze Wirbelsäule wieder mehr als Einheit auffassen, gleich wie wir das bei ihrer frühesten Anlage zu tun pflegten. Auch die ausgewachsene Wirbelsäule ist nichts anderes

als eine elastisch-chondröse Chorda, in welcher die Kalkeinlagerungen der Wirbelkörper und -bögen „nur als versteifende Einlagerungen erscheinen" (H. MEYER).

Vom genetischen wie vom funktionellen Standpunkte aus betrachtet dürfen wir die statische Einheit des Druckbaumes der Rumpfform ebensowenig zerreißen, wie die Einheit einer gemauerten Wand durch Zerlegung in ihre einzelnen Mauersteine und Mörtelstücke. Die Zwischenknorpelplatten zwischen den festen Wirbelpartien entstehen ähnlich, wie die beiden Fugen im Lenden- und Steißbeinknick durch lokale Dehnungen und Überdehnungen, wobei das „beständige Fließen der Substanz" eine Einlagerung von Kalksalzen verunmöglicht. — Daß auch der ganze Apparat der Columna spinalis mit Wirbelbögen und verschränkenden seitlichen Processus samt und sonders in Verbindung mit dem ganzen zugehörigen Muskelsystem als eine gesonderte Einheit, und zwar als elastische Doppelverstärkung, als „Zugstrebenvorrichtung" des Druckbaumes aufzufassen ist, ohne welche die Lendenknickkonstruktion nicht durchführbar wäre, habe ich schon anderwärts erörtert.

Für die Richtigkeit unserer Auffassung sprechen die nicht allzu selten beobachteten Varianten in der morphogenetischen Abschnittbildung des Wirbelstabes (Variabilität in der Zahl der Rippen, der Hals-, Brust-, Lenden- und Kreuzbeinwirbel), die bekanntlich gar oft in vivo nicht entdeckt werden, weil sie in der Regel gar keine funktionellen Störungen verursachen. (H. BLUNTSCHLI, HEDWIG FREY u. A.)

Das Festhalten am doppelten Abknickungsprozeß des untern Wirbelsäulenabschnittes erleichtert das Verständnis für die später am Individuum zutage tretenden mechanistisch-statisch-konstruktionellen Erscheinungen ebenfalls ganz wesentlich. Das stabilere Moment bleibt naturgemäß jenes Stück, das fest in den geschlossenen Beckenring eingefügt ist, das Kreuzbein.

Nicht jedoch, als ob sich nicht auch dieses mittlere Bruchstück in der Folge weiter veränderte — im Gegenteil. Schon bei der ersten Beckenformierung in utero hat es ja die Krümmung des Beckenrohres mitgemacht und die spätern Ausweitungen des Beckenringes in seiner II. und III. Formierung kommen bekanntlich zum großen Teil ebenfalls auf sein Konto zu stehen (Konstruktion des Beckendaches). Aber es bleibt doch stets im festen Gefüge mit dem übrigen Teil des Beckenringes und erleidet alle Veränderungen nur im Kontakt mit demselben und als Teil der versteiften Quergurte der Rumpfwand.

An dieser versteiften Quergurte nun setzt sich das beim Neugebornen in der Form noch sehr zugespitzte, elastische Polende der Stammform an, indem es den Beckenring als Stütz- und Ansatzpunkt benutzt: aber nicht nur den Ring als solchen. Das elastische Endsegment der Rumpfblase (Beckenbodenfaszie) setzt sich auch am abgebrochenen Kaudalstück der Wirbelsäule, am Steißbein an und zieht damit dieses äußerste, beweglich gewordene Wirbelsäulenfragment mit hinein in den Mechanismus des Beckenbodens, freilich, wie wir gesehen, bei beiden Geschlechtstypen in etwas differenzierter Weise.

Schon daraus ergibt sich der prinzipielle Unterschied im Beckenbodenmechanismus der beiden Geschlechter von selber. Es ist der Gegensatz im Bau und in der Funktion der einfachen Federbrücke (beim männlichen Typus) einerseits und derjenigen der Doppelfederkonstruktion mit frei beweglichem Scharnier an der Steißbeinspitze beim weiblichen anderseits (siehe Fig. 49 u. 90).

Wenn wir in der Folge die spitze Form des Beckenendes des Neugebornen allmählich sich abrunden sehen und wenn diese extrauterine Formveränderung zeitlich zusammenfällt mit der passiven und später auch aktiven Aufrichtung der Rumpfform des Kindes, so haben wir Grund genug, nach einem gemeinsamen ursächlichen Moment zu fahnden, das diesen

Erscheinungen zugrunde liegt. Man darf heute mit genügender Sicherheit annehmen, daß beim Menschen die Senkung der Urinblase nach dem Becken hin das Auftreten dieser Erscheinungen ermöglicht und begünstigt, jener dynamische Faktor, dem wir auch im weitern Laufe der Entwicklung die Ausweitung des Beckens in seiner II. und III. Formierung zugeschrieben haben. Dabei konstatieren wir mit großem Interesse zwei Dinge:

1. Den Wechsel in der Reihenfolge der Kausalmomente. Das topographische Sinken der Urinblase ist ebensogut Ursache als Folge der Aufrichtung der Spindelform.
2. Das Ineinandergreifen ontogenetischer und phylogenetischer Erscheinungen.

Zu den erstern wäre zu rechnen: Abrundung des Beckenringes, zu den letztern die Aufrichtung der Rumpfachse.

8. Konstruktionsprinzip und Statik der ganzen menschlichen Körperform.

a) Tangentenkonstruktion.

Die Ansicht, daß die Blasenkugel auf zwei Ebenen aufliegen müsse, auf der virtuellen Symphysen- und der ideellen Beckenbodenebene, um im statischen Gleichgewichte zu sein, und daß hierzu faktisch eine einzige schiefe Ebene nicht genügt, sie im weitern Sinken zu halten, war zu Beginn unserer Studie durchaus begründet. Wir konstruierten daher den Blasenkreis so, daß er die Spurlinien dieser beiden Ebenen auf der Medianfläche tangiert. Die Radienlänge dieses Kreises hatte ich so gewählt, daß sie den faktischen physiologisch-topographischen Größenverhältnissen der gefüllten Blase und dem zur Verfügung stehenden Raum entsprach und erst im spätern Verlauf der Konstruktion ergab sich sodann noch die überraschende Tatsache, daß auch eine dritte Tangente den großen Blasenkreis berührt, indem sich auch der Pultdachbau des Kreuzbeins mit seiner Rafenlinie DH männlicherseits an die angenommene Maximablasenkugel anlehnt. Schon das war eine wertvolle Unterstützung für die Richtigkeit unserer Auffassung (s. Tafel II).

Daß man aber die Spuren dieser Tangentenkonstruktion auch auf den andern Projektionsebenen wiederfinden würde, ließ sich ohne weiteres nicht voraussehen.

Auf all den folgenden Darstellungsebenen der männlichen Beckenform nun tritt ein neuer Kreis, der Femurkopfkreis, scheinbar als gänzlich außerhalb der funktionellen Blasenkreisregion liegend auf den Plan. Der Femurkopf wurde am Skelett direkt gemessen. Eine direkte Beziehung dieser Kugelgröße zur Blasenkugel konstatierten wir indes vorerst noch nicht. Beide Kreise schienen nicht so viel gegenseitige Beziehungen zueinander zu haben, daß man annehmen konnte, sie gehörten ein und demselben System an. So hatten wir auch nicht die Größenverhältnisse der beiden Kreisradien in gegenseitigen Vergleich gesetzt. Wir kennen aber aus direkter Messung (4 cm) den Durchmesser des männlichen Femurkopfes. Den Radius U_2 des großen Blasenkreises berechneten wir zu 4,35 cm.

Bei der Konstruktion der „innern Tangenten“ nun, die sich an die zwei in Lage und Größe gegebenen Kreise ziehen lassen, mußte nur auffallen, daß sie sich jeweils in der medianen Gleichgewichtsebene des Körpers auf einen unserer bekannten Fixpunkte stützten. Das mußte schon in Anbetracht der Feinheit der Reaktion, welche die Konstruktion der „innern Tangente“ darstellt, in hohem Grade überraschen. — Diese innere Tangierung der beiden Kreise ist aber auf den vier Darstellungsebenen Γ_2, Γ_3, Γ_5, Γ_7 insofern eine alternierende, als auf Γ_2 und Γ_3 die Blasenkugel oben dorsal-, die Femurkugel unten ventralwärts, auf Γ_3 und Γ_7 aber die Blasenkugel unten ventral-, die Femurkugel oben dorsalwärts

von der maßgebenden Tangente berührt wird, welche den bekannten Fixpunkt in der medianen Ordinatenebene zum Ausgangspunkt hat.

Sobald nun Lage und Größe der beiden tangierten Kreise und außerdem der Ausgangspunkt der Innentangente einmal bekannt sind, läßt sich ohne Schwierigkeit durch trigonometrische Berechnung die Länge der einzelnen Tangentenabschnitte durchführen. Indessen begnügen wir uns hier, diese Maße der Kürze halber aus der Konstruktion abzulesen, die wir zur größern Sicherheit in doppeltem Maßstabe ausgeführt haben. Trotz ihrer auf den vier Darstellungsebenen alternierenden Lage besitzen alle vier innern Tangenten zwischen den Berührungspunkten dieselbe Länge. $i = 7{,}175$ cm.

Eine solche Gerade stellt nun in allem einen mathematischen einarmigen Hebelarm dar, dessen Drehpunkt sich auf die mediane Gleichgewichtsebene des Körpers stützt und an welchem wechselseitig Kraft und Last je in senkrechter Richtung, also in der Richtung der Kreisradien u und f angreifen, welch letztere die Berührungspunkte der Tangente mit den Kreisradien U und P verbinden. Die Lage dieser Zentren zueinander ist durch die Konstruktion (Tafel I—VI) genau bestimmt. U liegt stets auf der Mittelordinate, P auf der Peripherie des statischen P-Kreises, dessen Radius $R = 9{,}545$ bekannt ist.

Auf den vier Ebenen Γ_2—Γ_t schließen nun die vier Innentangenten mit der Mittelordinate z ziemlich den gleichen Winkel ein (ca. 45°), gleichgültig nach welcher Seite hin die Tangente gerichtet ist. Da U und P wohl auf der medianen Projektionsebene jedoch nicht konzentrisch liegen, kann dieser Tangentenwinkel aber unmöglich auf allen Ebenen gleich sein. Nur auf der Grundebene Γ_3 (Tafel IV) erscheint der Winkel genau in der Größe von 45°, indem die Innentangente von O—Z' verläuft, somit vollkommen der Diagonalen eines Quadrates entspricht. In diesem speziellen Fall ist der Radius U = dem äußern Abschnitt m der Tangente. Es ist also:

$$\frac{u}{m} = 1 = \operatorname{tg} 0{,}000 = \operatorname{tg} 45^{0}.$$

Fassen wir diesen speziell einfachsten Fall auf Γ_3 zuerst ins Auge, um daraus das dynamostatische Moment zu berechnen, so ist

$$m = u_2 = 4{,}35 \text{ cm}; \quad i = 7{,}175 \text{ cm}; \quad f = 2{,}0 \text{ cm}$$

somit das	*Moment der Kraft,*	*Moment der Last*
	$m \times u$	$(m + i) \times f$
	$(4{,}35)^2$	$(4{,}35 + 7{,}175) = 11{,}525 \times 2{,}0$
	$18{,}922$	$= 23{,}05$

Schließen wir gleich auch die Berechnung der Innentangentenmaße an!

Es ist				
	auf Γ_2	$m = 4{,}375$		
	auf Γ_3	$m = 4{,}425$		
	auf Γ_t	$m = 3{,}95$;		
somit ist	auf Γ_2	$m \times u = 19{,}03$	und	$(m + i) f = 23{,}10$
	auf Γ_3	$19{,}248$		$= 23{,}2$
	auf Γ_t	$17{,}182$		$= 22{,}25$

Addieren wir zur bestmöglichen Ausgleichung der Fehlerquellen die vier gefundenen Werte von $m \times u$ und $(m + i) f$, so erhalten wir

$$4\, m \times u = 74{,}352 \quad \text{und} \quad 4\,(m + i) f = 91{,}60.$$

Es fordert nun aber die Gleichgewichtslage nach dem bekannten Hebelgesetz, daß das statische Moment der Kraft = dem statischen Moment der Last sei. Nehmen wir das letztere Moment 91,6 - 1, dann ist das Moment der Kraft so zu verstärken, daß es ebenfalls = 1 wird, d. h. es wird $x \cdot m \cdot u = (m + i) f$ zu setzen sein.

Oder $$x \cdot 74{,}352 = 91{,}6 \; ; \; x = \frac{91{,}6}{74{,}352} = 1{,}23 + 1{,}2246 = \varphi.$$

Setzen wir diesen neuen mathematischen Beweis in Worte um, so lautet die Schlußfolgerung: Das Kraftmoment am einarmigen Hebelarm $(m + i)$ wird in der Tangentenberechnung dargestellt durch den Radius u der Blasenkugel U_2, das Lastmoment durch den Radius f des Femurkopfes. Die Blasenkugel U_2 mit ihrem inkompressiblen Inhalt repräsentiert den innern Widerstand des Rumpfes, der massierte Femurkopf den auf dem Rumpfe lastenden äußern Druck.

Nun genügt aber nach obiger Berechnung der durch die Blasenkugel allein gebotene Widerstand nicht, den äußern Druck der Femurköpfe zu kompensieren; er muß durch ein Moment ergänzt werden, das als Festigkeitsmodul der Körpermasse selber angesprochen werden muß.

Diese Konstante entspricht also jener Zahl φ, welche auch das Verhältnis zwischen den beiden Kreisradien R_m und R_p des formbildenden und des formerhaltenden Kreises regelt.

$$\frac{R_p}{R_m} = \varphi = \frac{(m + i) f}{m \cdot u \cdot \varphi}$$

Danach ist nicht nur die relative Lage des Femurkopfes nach der Formanalyse bestimmt, sondern auch sein Radius nach der innern Spannung gegeben. Oder umgekehrt, indem wir den äußern in den Femoraköpfen wirkenden Druck als gegeben annehmen:

Die Größe des Blasenkugelmaxima (innerer Widerstand der Rumpfblase) ist abhängig von dem dynamo-statischen Moment des Außendruckes und der Konstanten φ des Art-*P*.

$$u = \frac{(m + i) f}{m \cdot \varphi}$$

Was man physikalisch unter φ zu verstehen hat, ist nun nicht mehr schwer zu verstehen, sobald wir uns in Erinnerung bringen, daß am Hebelarm das statische Moment der Kraft = dem statischen Moment der Last sein soll.

L. S. 84. **Die innere Spannung des Ballons muß in ihrer Widerstandskraft erhöht und ergänzt werden, durch diejenige der Ballonwand selber, bis das Ganze dem von außen her auf ihm lastenden Druck standhält.**

Wir dürfen also nach der Ballontheorie φ als den Widerstandskoeffizienten des Organismus, des arteigenen Plasmas ansprechen. Diese Festigkeit muß innerhalb der Art konstant bleiben, da nur auf diese Weise die richtigen Relationen für die Normalkonstruktion der Artgestaltung erhältlich sein werden.

So einfach im Grunde der Nachweis der innern Tangentenkonstruktion beim männlichen Typus ist — beim weiblichen haben wir sie nicht in ebenderselben Weise entdecken können. Nur auf der Γ_o- und der Γ_r-Ebene ist die Konstruktion so möglich, daß sich die Innentangente auf einen bekannten median gelegenen Fixpunkt stützt. Indes steht auch bei dieser Konstruktion stets die Tangente im Vordergrund des Interesses, aber sie gibt hier ihre Herrschaft konstruktionell auf andere Weise kund.

Es ist ja hier nicht mehr die Blasenkugel allein, welche den Beckenbau in so auffälliger Weise beherrscht, wie beim männlichen Typus, sondern vielmehr die Form der Linea arcuata als Resultante der vereinigten dynamischen Wirkung von Blase und Uterusmechanismus zusammengenommen.

Versuchen wir auch weiblicherseits wieder an der Innentangente auf Γ_a und Γ_i den Koeffizienten zu berechnen, der sich aus dem Verhältnis der statischen Momente Kraft und Last ergibt, so fällt dieser Koeffizient größer aus als φ. Er ist in beiden Fällen gleichlautend = 1,4.

Die rein dynamische Widerstandskraft der Eingeweidekontenta ist mit dem Kleinerwerden der Blasenkugel beim weiblichen Geschlecht — wie zu erwarten war — kleiner geworden. Das Plus, das zugelegt werden muß, kommt auf Konto der Körpersubstanz, d. h. der eingebauten und zur Erhöhung des internen Druckes selbst beitragenden, maschinellen weiblichen Körperanlage, des elastischen Uterushebels.

Wenn auch eine verstärkte Ausweitung der Form am Beckenende des Weibes durch diese Selbstvervollkommnung der organischen Technik möglich geworden, so wird trotzdem auch hier das Verhältnis zwischen Formbildung und Formerhaltung nicht gestört dank der statischen Umlagerung der beiden Kreise zueinander. Natürlich! — Beide Geschlechtstypen, die männliche und die weibliche, gehören ja ein und derselben Spezies an, haben somit dieselbe Festigkeit in ihrem Art-P; aber die Verteilung seiner Kraft- und Widerstandsmomente ist eine verschiedene bei beiden Geschlechtern geworden.

Im Festigkeitskoeffizienten, in der Verhältniszahl φ liegt daher auch das Geheimnis der Konstanz der Form, der Schlüssel zum Konstruktionsprinzip des menschlichen Körperbaues überhaupt.

Auf der einen Seite bietet nämlich der Organismus in der Konstruktion seines Art-P einen wohlgeregelten und berechenbaren Widerstand gegen den Innendruck, gegen die Energetik und Dynamik der „innern Außenwelt", gegen das in gasförmiger, flüssiger oder halbflüssiger Form aufgenommene Kontentagemisch. Der Organismus gleicht also in allem der Ballonhülle oder der Wursthaut, die durch den Inhalt belastet, „gefüllt" werden. Erst nachdem die Füllung bis zu einem gewissen Grade gediehen und eine bestimmte Formbildung zustandegekommen ist, kann auch eine gesicherte Statik oder Lokomotion des Ganzen, das heißt eine Formveränderung und Formverschiebung, in Frage kommen. Für beide: Statik wie Lokomotion ist also die innere Festigkeit des Organismus maßgebend. Sie resultiert aus dem Ausgleich fremder innerer Spannkräfte mit der eigenen Substanz.

Die mechanische innere Formbildung ist also stets das Primäre der organischen tierischen Substanz, sie ist die „unabhängige Größe der Funktion", während die statische Formerhaltung und Lokomotion als Formveränderung das konsekutive äußere Moment der Körpergestaltung darstellt. Das Festigkeitsmodul der Körpersubstanz aber ist für beide in gleicher Weise maßgebend als Vermittler. Da aber das innere Belastungsmoment der tierischen Formbildung, das dann als Widerstands- und Kraftmoment gegen die äußere Belastung auftritt, kleiner ist als das statische äußere Moment, so wird die mechanische Formbildung nochmals von der Statik reformiert, indem sich die einzelnen Teile unter dem Einfluß der Schwerkraft so verlagern, daß sie sozusagen von selber ins statische Gleichgewicht kommen.

Und die Grundbedingung dieser selbsttätigen Verschiebung der Teile?

Sie ist in letzter Instanz wieder in der Heterogenität der organischen Substanz zu suchen — im weitgehendsten Sinn des Wortes gesprochen —, d. h. im Aufeinanderfolgen und Ineinandergreifen von festeren, widerstandsfähigeren Körperteilen mit beweglicheren und leichter verschiebbaren.

Überall dasselbe ursprüngliche und grundlegende Kausalmoment der Entwicklungsfähigkeit in der einfachsten kolloiden Substanz, bei der Amöbe sowohl wie im hochorganisierten Leib des Menschen! —

Dadurch wird es möglich, daß beispielsweise der Spreizwinkel zwischen den beiden schiefen Ebenen des menschlichen Beckenendes (Symphyse—Beckenbodenebene) langsam unter dem hydrostatischen Drucke des Blaseninhaltes sich öffnet (Fig. 54—56). Durch die stärkere Belastung dieses Endstückes der Körperachse wird späterhin auch die Aufrichtung der Rumpfachse ermöglicht, nachdem beim Menschen intrauterin schon durch den Lendenknick vor dem Beckenring ihre Festigkeit lokal geschwächt worden ist.

Von der richtigen Verteilung und Aufeinanderfolge festerer stabiler und beweglicher elastischer Teile der Körpersubstanz also soll zunächst nun auch die Möglichkeit der Entfaltung der wichtigsten tierischen Lebensfunktionen: Formänderung und Lokomotion abhängen? —

Eine solche abwechslungsreiche Anordnung scheint schon vom Standpunkte des Relativitätsprinzipes aus erforderlich zu sein. Diesem Prinzip im weitesten Sinne begegnet man auch auf allen Wegen, sobald man beginnt auf irgend einem materiellen oder ideellen Gebiete Kausalanalyse zu treiben.

Begreiflich! — Denn sobald sich zwei Faktoren, die als Kausalmomente für irgend eine Erscheinung in Betracht fallen können, sich messen, d. h. zueinander in Korrelation, in Aktion, treten, entsteht eine Reaktion als Austausch der beiderseitigen Größen nach dem Relativitätsprinzip. Mögen auch die Vorgänge noch so kompliziert und die Komponenten dabei uns noch so verborgen sein — in allerletzter Linie läuft der Lebensprozeß doch stets auf den Austrag zweier ungleich großer Faktoren hinaus.

Das Ergebnis dieses Ausgleiches ist stets vorauszusehen, da es die natürliche Folge ungleicher Quantitäten oder Qualitäten der sich messenden Größen ist. Sind sich in einer Beziehung beide gleich, so ist die Wechselwirkung in ihrem Erfolg gleich Null und ein greifbarer Erfolg ist kurzerhand unmöglich. Die beiden Kontrahenten müssen sich zur Abfuhr des einen nach einem andern Kampfmittel umsehen, in welchem voraussichtlich der eine dem andern überlegen ist.

Das Ergebnis des erfolgten Waffenganges ist der Kontrakt als Modus vivendi für beide Kontrahenten. Er ist für beide Teile eine wertvolle Errungenschaft und bildet auch für den unterlegenen Teil einen um so größeren Gewinn, je höher schon der Gegner vor dem erfolgten Waffengange qualifiziert worden ist.

In ihrem Austausch der Kräfte mit der Außenwelt gerät nun aber die tierische Körpersubstanz — im Gegensatz zur vegetabilen — in ein Kreuzfeuer, indem sie ja relativ größere Teile der Außenwelt als Ganzes unverarbeitet in sich aufnimmt. „Das Tier frißt, stülpt sich über seine Nahrung", sagt MEZ zutreffend, „die Pflanze frißt niemals."

Auf diesen wichtigen prinzipiellen Unterschied zwischen Tier- und Pflanzenleben stützt sich auch die neue „Ballontheorie" gegenüber der bisherigen „Ständertheorie". Sie kommt bei der Tierwelt sofort sichtlich da in Anwendung, wo der tierische Organismus neben fester und flüssiger Nahrung auch noch luftförmige Stoffe aufnimmt, um sie im Leibesinnern erst nach und nach umarbeiten und abbauen zu können.

b) Die Ballontheorie.

Zum Ballonbegriff gehört also notwendigerweise die auftreibende innere Formgestaltung einer dehnbar-elastischen Hülle durch expandierende Kraft eines in bezug auf das äußere Medium spezifisch leichten Inhaltes. Wenn wir heute die Ballontheorie*) der Ständertheorie gegenüberstellen, so verstehe ich unter der letztern die Art und Weise, wie man heute noch

*) v. ARX, Ballon- oder Ständertheorie? — (Refer. Schweiz. Naturf. Vers., Schuls. 1916, erweitert im Arch. f. Anthropolog., Bd. XVII, 1918/19).

in wissenschaftlichen Kreisen die Körperform statisch aufzufassen pflegt, indem man die gesamte Körperform von vornherein als etwas Statisch-Gegebenes, Totes auffaßt, gleichsam als Statue oder als festgewurzelten Baum.

Der Vergleich des lebenden tierischen und menschlichen Körpers mit diesen beiden genannten „leblosen" Gegenständen hat indes viel für sich gehabt und diese Auffassungsweise ist tatsächlich die naheliegendste gewesen. Sie wird gestützt durch die bis jetzt herrschende Annahme, daß man das Skelett als den einmal gegebenen Stützapparat des Wirbeltieres anzusehen habe. Und in Gedanken hängt man an den künstlich aufgerichteten Skelettständer die übrigen „Systeme" des Körpers: Bänder, Muskeln, Nerven, Gefäße usw. der Reihe nach ergänzend an.

Der wunde Punkt dieser Theorie liegt aber schon in der genannten Annahme: in der Prädestination des Knochengerüstes als Ständer. Ohne Beihilfe eines eisernen Stativs, ohne Zuhilfenahme von Bändern und Muskeln ist das selbständige Stehen des menschlichen Skelettes undenkbar. Umgekehrt aber lehren uns die Verhältnisse im Körperbau eines Vogels, beispielsweise einer Gans oder Ente, wie innig sich die Rumpfknochen der äußern Form anschließen und wie Knochengewebe in Sehnen- und Muskelgewebe sich ausziehen.

Die den Zweck zum Voraus bestimmende, also prädestinierende Auffassungsweise der heutigen Anatomie, zudem ihre streng durchgeführte systematisierende Methodik mußten logischerweise jeder Kausalanalyse der Form skeptisch, um nicht zu sagen feindlich, gegenübertreten. Nur so ist es zu erklären, wenn die seinerzeit von HIS mit so sichtlichem Erfolg eingeleitete Kausalanalyse der Form nicht weiter verfolgt worden ist. Für die Zwecke der deskriptiven Anatomie freilich mögen die seit alters hergebrachte Methodik und die dadurch herbeigeführte scharfe Scheidung der Körpersubstanz in die einzelnen Systeme von entschiedenem Vorteil in der Lehrmethodik gewesen sein; den damit verknüpften Nachteil der Trennung der Teile, der Zerstückelung des Ganzen, sowie den damit notgedrungen verbundenen Verlust der Übersichtlichkeit wird aber der heutigen Anatomie niemand absprechen wollen. Es konnte daher schon als eine befreiende Tat gelten, als H. MEYER in der Einleitung zu seiner „Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes" den Grundgedanken der Schlauchtheorie proklamierte und in seinem Lehrbuch wie in seinen Vorlesungen den Stoff wieder von höhern vereinigenden Gesichtspunkten aus behandelte. Dazu beigetragen hat nicht wenig die von ihm entdeckte und dann von CULMANN als in Übereinstimmung mit statisch technischen Grundsätzen erklärte Anordnung der innern Knochenstruktur.

Indem so mein verehrter Lehrer MEYER als erster die Rumpfwand des Vierfüßlers und des Menschen als einen „muskulösen Schlauch" bezeichnet hat, „in dem die Knochen als modifizierende Einlagerung erscheinen", ist er der eigentliche Begründer der Ballontheorie geworden.

H. STRASSER hat dann in seinem neuern Werke (Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik, 1908) — wenigstens soweit sie die Tiergestalt anbetrifft — die Schlauchtheorie MEYERs ausgebaut und technisch zur Ballontheorie umgeformt, indem er ähnlich wie sein Kollege MEYER den „Rumpf" des Vierfüßlers mit einem „Ballon halbstarren Systems" vergleicht, an welchem „Druckbaum" (Wirbelsäule) mit „Längsgurten- und Quergurtenanlagen" nachweisbar sind.

So einfach und einleuchtend diese Theorie in bezug auf die liegende Spindelform des Vierfüßlers auch auf jeden Unbefangenen sein mußte — für die aufrechte Stellung der menschlichen Rumpfform schien sie nicht ohne weiteres anwendbar zu sein.

Bis heute haben auch alle Anthropologen und Statiker des menschlichen Körpers, ohne Ausnahme von der fertigen Gestalt ausgehend stets die Längendimension der Körperform

über Gebühr bevorzugt auf Kosten der Breiten- und Tiefendimension derselben. Das geht beispielsweise aus dem neuen Schema der Züricher Schule für anthropologische Messungen (MARTIN) hervor, wo unter den 12 geforderten Maßen 10 Längen- und nur 2 Breitenmaße sich befinden, während die Tiefendimension gänzlich unberücksichtigt geblieben ist.

Nun wird aber niemand mit Fug und Recht behaupten dürfen, eine Form und ihre Statik zu verstehen, solange er nicht einen Einblick in den Aufbau und die Ausdehnung derselben nach allen drei Dimensionen hin besitzt. Um einen solchen Einblick in die Form zu erhalten, so daß man sie nach allen Raumdimensionen hin sicher wiederzugeben vermag, bedarf man zuerst eines sichern Orientierungssystems (s. S. 15).

Unser Orientierungssystem*) — zunächst nur zur Ergründung der menschlichen Beckenform angenommen — haben wir wieder auf die gründliche statische Beobachtung H. MEYERs aufgebaut. Ich hebe aber hier ausdrücklich hervor, daß diese Beobachtungen H. MEYERs vom Autor keineswegs im Zusammenhang mit seiner Schlauchtheorie gemacht worden sind und somit auch in keinem kausalen Zusammenhang mit der später daraus entwickelten Ballontheorie zu stehen scheinen. Wenn wir in der Folge die ältere Ständertheorie verlassend zu der Ballontheorie übergegangen sind, so müssen uns andere Gründe dazu bestimmt haben. Ein innerer Zusammenhang zwischen Vertikalorientierung und Ballontheorie war ursprünglich nicht vorhanden.

In einem Punkte freilich kamen sich bald beide entgegen: Beide forderten energisch die gleiche Rücksichtnahme auf die Formentwicklung nach allen drei Raumdimensionen hin. Es mußten daher in der Körperform selber ideelle Achsen gesucht werden, die sich einerseits genetisch, anderseits technisch konstruieren und begründen ließen.

Waren diese Achsen einmal festgestellt und damit ihre relative Lage und Länge, so mußten Veränderungen dieser letztern bei vorkommenden Gestaltsveränderungen des Organismus uns wichtige Anhaltspunkte und Fingerzeige geben für die Beurteilung und Berechnung der dabei in Frage stehenden mechanischen Kräfte.

Schon die Feststellung der einfachen liegenden Ballonform des Tierrumpfes und ihrer Statik ist ohne Kenntnis der Achsenverhältnisse nicht denkbar gewesen. Sie hat auch ohne diese nicht zur Erkenntnis des „Zugstrebensystems" am Druckbaum geführt. Um so mehr aber heischte die Ergründung des komplizierten Konstruktionsprinzipes der aufgerichteten Ballonform beim Menschen die Feststellung der genetischen Achsen und ihrer gegenseitigen Lagebeziehung zueinander wie zur Vertikalen, und dies vorzugsweise aus dem Grunde, weil die Hauptachse des Rumpfes durch den genetisch verfolgbaren Lendenknick gebrochen erscheint, und die einzelnen Teilstücke der Achse, mobiler geworden, bei der Lokomotion des Ganzen ihre gegenseitige Stellung und Lage wechseln.

Unsere Orientierung der Form unter Berücksichtigung der Vertikalebene geschieht in Anlehnung an das H. MEYERsche Naturgesetz der Pubospinalebene, das nach dem Autor für beide Geschlechtstypen des menschlichen Beckens in gleicher Weise Geltung hat. Von genetischen Körperachsen hat man beim Menschen bisher überhaupt nicht gesprochen, sondern höchstens von der Schwergewichtslinie als der Vertikalen, die man sich durch den Gesamtschwerpunkt des Körpers gehend gedacht hat. Man konnte dieses Begriffes auch so lange entbehren, als man nicht von einer intrauterinen Mechanik und Dynamik sprach, welche schon für die Formbildung der Frucht von entscheidendem Einfluß werden sollten.

So lange nun die Spindelform, ihre Längsachse und ihr innerer Versteifungsgrat, der Druckbaum (Wirbelsäule) intakt erhalten sind, was bei der liegenden Stellung der tierischen

*) v. ARX, Die Bedeutung der Orthogonal-Projektion usw. Arch. f. Anthrop. Bd. XIII. 1914.

Rumpfform zumeist der Fall ist, so geht auch die Hauptachse „ungebrochen" und meist horizontal und in gerader Linie, zuweilen, wo der „Druckbaum" gerade ist, auch als Hängebrücke von einem Spindelpol zum andern, also mitten durch den Brustkorb und den Beckenkanal hindurch wie beim Rind.

Diese Haupt- und Längsachse verläuft auch dann noch gerade, wenn die Spindelform am einen (vordern) Ende aufgerichtet sein sollte, wie wir dies bei den meisten Vögeln und ganz besonders bei den Primaten finden.

Senkrecht zu dieser Längsachse stehen die ideellen Nebenachsen entweder so, daß sie auf dem Medianschnitt der Spindelform in ganzer Länge zum Ausdruck kommen (Stütz- und Tiefenachsen), oder sie sind in der Darstellung in einen Punkt reduziert (Querachsen).

Von der mathematischen Querachse der Form zu unterscheiden sind die mechanischen, die als Drehachsen durch symmetrisch gelegene Stützpunkte gehen. Sie brauchen nicht notwendigerweise durch die genetische Längsachse der Form selber hindurch zu gehen; ja es ist sogar als ein mechanisches Postulat der Lokomotion anzusehen, daß wenigstens die vordere Drehachse bei den Vierfüßlern unterhalb der Längsachse zu liegen kommt, ansonst eine Lokomotion der Form, die primär nur durch einfache Veränderung der Rumpfform oder seitliche Pendelbewegung derselben zustande kommt, ausgeschlossen erscheint (Fig. 48). Bei vielen schnellfüßigen Vertebraten trifft man nämlich die hintere Querachse, die man treffend auch als „Schub- oder Stoßachse" bezeichnen könnte, sehr hoch oben am Beckenring, jedenfalls über der Längsachse an.

So einfach sich diese Verhältnisse auch für die tierische Rumpfform gestalten, so verborgen liegen sie im menschlichen Körper, zumal wenn man sie gleich beim Erwachsenen ins Auge faßt, ohne zuvor die genetische Entwicklung der Form genauer verfolgt zu haben.

Obschon die Würdigung zweier Erscheinungen uns bei unserer Studie förderlich gewesen ist, die wir in einem solchen Grade der Prägnanz nur bei der Spezies homo finden, ich meine:

1. die scharf markante Abknickung der Wirbelsäule vor und hinter dem Beckenring und
2. die ausgesprochene Differenzierung der beiden Geschlechtstypen in der menschlichen Beckenform,

so konnte doch nur eine exakte Formanalyse Licht in diese Verhältnisse bringen.

Frägt man nach den Ursachen dieser beiden genannten Erscheinungen, die wir in so ausgesprochenem Grade nur am menschlichen Becken beobachten, so heißt schon das bloße Aufstellen dieser Frage nicht mehr bloß Formstudie treiben — es ist bereits schon mehr als Kausalanalyse dieses Gegenstandes zu bezeichnen.

Die Studie ist mit einem Schlag aus einer rein anatomistischen zu einer anthropologischen geworden. Unaufhaltsam drängen sich jetzt Frage auf Frage, Probleme über Probleme heran, die zuerst beantwortet und gelöst werden wollen, wenn man den Hauptgedanken nicht außer acht verlieren soll.

Aber nachdem wir eben die Resultate der Formanalyse, wie sie aus der Untersuchung der beiden Beckentypen hervorgegangen sind, haben Revue passieren lassen, so handelt es sich hier darum, nicht nochmals auf den Unterschied beider Geschlechter zurückzukommen, sondern im Gegenteil gerade das hervorzuheben, was konstruktionell beiden gemeinsam ist. Das scheint weniger leicht zu sein, als es für den ersten Moment den Anschein und auch weniger leicht, als man es bisher angenommen hat.

Und doch existieren diese Unterschiede nicht, oder doch nur in abgeschwächtem Maße bei den Jugendformen der beiden Geschlechter. Es gilt dies bekanntlich nicht

nur für die Beckenform allein, sondern ebenso für die gesamte Körperform und den ganzen Habitus!

Das Konstruktionsprinzip des Körperbaues muß also für beide Geschlechter ursprünglich dasselbe sein trotz der späterhin prägnant ausgesprochenen geschlechtlichen Differenzierung. Später auftretende Differenzen sind daher in ihrer Gesamtheit als geschlechtliche Modifizierungen ein und desselben Grundprinzips aufzufassen. Ihre Ursachen sind ebensowohl mechanischer Natur als chemischer, welch letztere man bis jetzt in zu reichlicher Würdigung der autosekretorischen Vorgänge allein anerkannt hat.

Sobald man aber nach der Ballontheorie dem Beckenring gleichwie dem Brustkorb die ihnen nach STRASSER zufallende Qualifikation als versteifte Quergurtensegmente der Ballonwand zuweist, kann das Konstruktionsprinzip nur in Verbindung mit der ganzen Rumpfform verstanden werden. Dorsalwärts sind diese beiden Quergurten unter sich durch den biegsamen Stab der Wirbelsäule verbunden. Über die Energetik und Dynamik des im Lumen des Ballons selbst wieder in elastische Hüllen verpackten Materials hat uns das physikalische Experiment (S. 72) genugsam aufgeklärt und damit die Grundvesten der Ständertheorie erschüttert; dafür aber hat es neue und frische Anschauungen über Entstehung und Wesen der Lebensfunktion in uns erweckt, die für die zukünftige Forschung grundlegend sein dürften.

Danach bildet das Primäre jeder mechanischen Lebensfunktion die Energetik und Dynamik der eingeschlossenen an und für sich toten Außenwelt als Aktion in Wechselwirkung mit der elastischen Umhüllung; das Sekundäre ist die Reaktion dieser hochpotenzierten elastischen Ballonwand, des selbstdifferenzierten und organisierten, spezifisch aufgebauten Artprotoplasmas. An Körperstellen, wo diese reaktive Tätigkeit sich häufig wiederholt, geht nämlich infolge des wiederholten mechanischen Reizes die organische Substanz und ihre passive Elastizität selbsttätig in die erhöhte Positionsstufe der aktiven Kontraktilität über. Es kommt durch geeignete maschinelle und geordnete Trennung positiv und negativ elektrisch geladener Moleküle zur Muskelbildung, zur maschinellen Verstärkung des passiven Elastizitätskoeffizienten der plasmatischen Substanz.

Anderseits muß der mit vervollkommneter Anlage versehene Organismus sich statisch versteifen, um sich sowohl mit seiner innern wie mit der äußern Außenwelt ins Gleichgewicht setzen zu können. Erst nach erfolgtem Ausgleich mit den Spannkräften im Innern setzt sich die Stammform als eine Einheit, ein Ganzes von bestimmter Festigkeit dem äußern Drucke gegenüber. Und wo sich dieser Druckreiz an der Form am meisten geltend macht, da verstärkt sich auch wieder durch Selbstdifferenzierung die plasmatische Substanz zur widerstandsfähigen Knorpel- und Knochenanlage genau nach den erforderlichen Proportionen und unter möglichster Einsparung des Materials, indem die Baupläne sich weise nach der Qualität des in der Zusammensetzung des Art-*P* gegebenen Baumaterials richten. Muskel- und Skelettanlage sind somit in gleicher Weise Abkömmlinge der plasmatischen Substanz, nach Bedürfnis aus dieser entstanden auf wiederholten physikalischen Reiz hin und entstanden zur Verstärkung ihrer physikalischen Eigenschaften: Elastizität und Festigkeit. Das einzig also hat die organische Substanz vor der anorganischen voraus, die Fähigkeit, sich unter dem Einfluß günstiger, äußerer Verhältnisse höher zu potenzieren, zu vervollkommnen.

Mit diesem müssen wir nun auch den Grundgedanken der Schlauchtheorie H. MEYERs etwas modifizieren, indem wir sagen:

„Die Grundgestalt der Rumpfwand ist nicht ein muskulöser Schlauch", wie MEYER sagt, „in dessen Substanz die Knochen nur als modifizierte Einlagerung erscheinen."

Wir formulieren diesen Satz noch etwas anders, indem wir sagen:

Die Grundgestalt des Menschen ist ein ballonförmiges, bindegewebiges Protoplasmaklümpchen, dessen Substanz sich nach den Anforderungen der Mechanik und Statik selbst organisiert zu Muskel- und Skelettanlagen. L.S.85.

Nach diesen vereinfachten Anschauungen entspricht die vegetative, dynamo-mechanische Funktion des menschlichen Organismus und seine Statik durchaus derjenigen des einzelligen Amöbenleibes. Sie sind nur vervollkommnet dadurch, daß die funktionellen Prozesse sich komplexer an vervollkommneten maschinellen Anlagen abwickeln, die das höher potentierte und höher entwicklungsfähige Protoplasma des Menschen von sich aus auf äußern Anstoß hin zu schaffen vermag: maschinelle Anlagen für erhöhte Festigkeit und Elastizität und ganz besonders auch für Aufstapelung von Reizenergie in den komplizierten Zentralanlagen der reizleitenden Substanz.

Das Konstruktionsprinzip einer Art ist also von dem dieser zukommenden Gesamtwert der protoplasmatischen Körpersubstanz und vor allem ihrer Bestandteile *p* und *n* abhängig. Wir dürfen den ersten Bestandteil (*p*) nach den vorausgegangenen Erörterungen mit dem Bindegewebe identifizieren, aus dem in gleicher Weise Muskel- wie Knochengewebe entsteht, die umgekehrt bei fehlender Inanspruchnahme in kurzer Zeit wieder zu Bindegewebe „degenerieren".

Das wären die Grundlagen des Konstruktionsprinzips auch der menschlichen Körperform. Sie werden in ihrem Gesamtwert schon in der Zellsubstanz in Ei- und Spermazelle vererbt, aber sie entwickeln sich schon im Ei unter dem Einfluß ganz spezifischer, osmotischer und anderer mechanischer Druckverhältnisse, die selbst wieder zum Teil in der Konstruktion des mütterlichen Organismus oder im Ei gelegen sind. Die drei Hauptpunkte im Bauprinzip des menschlichen Organismus: 1. den Lendenknick, 2. die Tangentenkonstruktion, 3. die Ballonkonstruktion haben wir des Einläßlichen und Genügenden erörtert und wir glauben es nun wagen zu dürfen, auch noch das für uns interessanteste und wichtigste Problem der gesamten Entwicklungslehre: die Anthropogenese in Angriff zu nehmen.

c) Die Anthropogenese als Folge des Lendenknicks.

Wenn wir die Fragen über die Ursachen der Entstehung des Steißbein-Lendenknicks als rein ontogenetische oben im Kapitel Ontogenie zusammenfaßten, so geschah es, weil sie nur im engsten Zusammenhange mit den Beckenformierungsvorgängen betrachtet werden konnten.

Es waren dabei hauptsächlich die beiden Fragen zu erörtern:

1. Was ist die Ursache der fötalen Krümmungen der menschlichen Wirbelsäule?
2. Liegt den beiden Krümmungen bzw. Abknickungen, vor und hinter dem Beckenring, ein und dieselbe Ursache zugrunde?

Indem wir die letzte Frage bejahten, legten wir den beiden Deformierungen der menschlichen Wirbelsäule ein und dasselbe mechanische Kontaktmoment zugrunde, wie der ganzen Beckenformierung überhaupt und eliminierten damit den vagen Begriff eines „spezifischen Knochenwachstums LITZMANNs und FEHLINGs", der im Grunde nichtssagend ist und einer Kausalitätsforschung nicht standhält.

Damit ist aber die Bedeutung des Lendenknicks beim Menschen nicht erschöpft.*)

Wir kommen vielmehr noch auf die wichtigen *Folgen* der Lendenknickbildung zu sprechen, der wir nichts weniger als die „Menschwerdung" zu verdanken haben, und suchen dabei die weitern Fragen aufzuwerfen und zu beantworten:

*) Siehe v. ARX, Zeitschr. f. Geb. u. Gyn. Bd. LXXIV, p. 187 und Gyn. Helv. XVI, 6.

1. Warum kommen diese Abknickungen nur beim Menschen vor?
2. Was sind die Ursachen der spätern Verstärkung der Abknickung?
3. Wie erklären sich die Geschlechtsunterschiede in Hinsicht auf die Promontoriumsbildung beim Menschen?
4. Was sind die weitern Folgen des Lendenknicks für die Spezies homo?

1—3 sind Fragen sowohl ontogenetischer wie phylogenetischer Natur; sie sind bereits oben abgewickelt worden. Wir heben hier nur noch einmal mit Nachdruck hervor, daß man eine Knickbildung an der Lendenwirbelsäule bei keiner Tierspezies beobachtet, ebensowenig wie die Bildung einer Leistkugel, die in Verbindung mit der Achsenverkürzung des menschlichen Rumpfes in utero und in Kontaktwirkung mit dem Beckenring die menschliche Wirbelsäule vor und hinter dem letzten abknickt. Über die Konstruktion siehe Erster Teil, S. 60 ff.

Und damit kämen wir im weitern auf die rein phylogenetische Frage über die Folgen des Lendenknicks zu sprechen.

Die Verfolgung der Entstehung der ersten Anfänge einer Promontoriumsbildung am Skelett höherer Säugetiere, der Primaten und an menschlichen Früchten hat uns, ontogenistisch wie phylogenistisch betrachtet, interessante Resultate geliefert, die in die beiden Sätze zusammengefaßt werden können:

L. S. 86.

1. **Eine ausgesprochene Promontoriumsbildung in der Lendenkreuzbeingegend kommt nur bei der Spezies homo vor.**
2. **Sie ist an der menschlichen Frucht schon vom dritten Monat ab nachzuweisen, erhält aber ihre prononcierte Form erst mit der zweiten, der juvenilen Beckenbildung des Menschen.**

Die Abknickung des innern Druckbaumes der Rumpfspindel ist somit als ein schon sehr früh auftretendes Artmerkmal des Menschen aufzufassen, das wir, wie alle andern anthropomorphen Merkmale durch die Lendenknickkonstruktion auf eine einheitliche Ursache: Verkürzung der Frucht durch relativ behindertes Wachstum in der Längsachse zurückführen konnten als Folge phylogenetischerweise veränderter Druckverhältnisse im kugelig gewordenen menschlichen Gebärorgan.

Unter Zuhilfenahme der im zweiten Fötalmonat durch die genannten Kausalmomente an der menschlichen Frucht allein zustande kommenden zentralen Leistkugel ließen sich dann in ungezwungener Weise alle Erscheinungen der ersten Beckenbildung geometrisch erklären und diese Erklärungen physikalisch-technisch stützen. Damit war eine Übereinstimmung nicht nur in Ontogenie und Phylogenie, sondern auch mit der Technik gegeben, und je mehr man sich damit beschäftigt, um so mehr wird man gewahr, wie einfach im Grunde genommen Funktion und Form sich auch am Menschen gestalten. Sie sind längst durch den menschlichen Geist und Scharfsinn konstruktionell und technisch nachgeahmt worden, ohne daß der Mensch selber von ihrem somatologischen Vorhandensein die geringste Ahnung hatte. Es beweist dies nur, wie sehr er über Zustandekommen, Wesen und Statik seiner eigenen Formen bisher im unklaren war.

Hatte schon die Steißbeinknickung, so unscheinbar und unbedeutend diese Bildung auch zu sein schien, die Entstehung eines eigenartigen, in der Tierwelt sonst nicht gekannten Beckenbodenmechanismus ermöglicht, so schien uns im Vorhandensein der andern Bruchstelle der Wirbelsäule vor dem Beckenring die einzige Möglichkeit gegeben für das Zustandekommen einer noch weit folgenschwereren und charakteristischen anthropogenetischen Erscheinung, für die „gänzliche Aufrichtung" der Wirbelsäule, oder wie wir uns inskünftig präziser ausdrücken wollen, der Längsachse der Rumpfform.

Das ursächliche Moment, das zu diesem wichtigen mechanischen Vorgang führte, muß entweder in einer Mehrbelastung des hintern, oder was gleichbedeutend ist, in einer relativen Entlastung des vordern Poles, des Brustendes, gesucht werden. Die Abkrümmung des Beckenrohres wie die Abknickung der Lendenwirbelsäule vor demselben — sie beide begünstigen mit der Ausweitung der untern, hintern Urachuspartie zur Blase die Verlagerung der letztern nach dem hintern Pol hin, und noch mehr als diese beiden Momente tun dies die Rückenlagerung und das Hochtragen des Kindes. Die Blase verzieht sich dabei immer mehr in den Beckenring hinab und erweitert den Öffnungswinkel zwischen seinen beiden schiefen Ebenen, der virtuellen Symphysen- und der ideellen Beckenbodenebene. Zu der vermehrten Belastung gesellt sich die vermehrte Spannung und die Abrundung des Beckenendes der Rumpfform.

Damit erst kann der wichtigste Akt der Anthropogenese: „aktives Aufrichten" der Körperform und aufrechter Gang zustande kommen. Es ist freilich nicht zu leugnen, daß die Tierwelt bereits eine ganze Reihe von Arten, Familien, ja ganze Klassen aufweist, denen nachweisbar eine mehr oder weniger aufgerichtete Rumpfachse zukommt. Dies ist vor allem bei vielen Vogelfamilien der Fall, und es läßt sich auch konstatieren, daß dabei in der Tat überall eine Mehrbelastung des hintern Rumpfendes statthat, indem dem Vogelrumpf beispielsweise die Eiform zukommt, deren spitzeres Ende nach der obern, der Kopfseite zugekehrt ist. Aber das ausweitende Moment ist wie die Grundform des Vogelrumpfes und seine Statik eine durchaus andere als beim Menschen.

Den anthropomorphen Affen kommt ebenfalls zumeist eine wenigstens halbwegs aufgerichtete Körperhaltung zu bei ungebrochener Körperachse; ihr Gang ist aber plump, schleppend und wenig elastisch. Er wird durch das kompensierende Gegengewicht des langen Schwanzes ermöglicht.

Den verhältnismäßig höchst einfachen mechanischen Vorgang der Anthropogenese gibt uns das Experiment IX in zufriedenstellender Weise, indem es zugleich noch auf die weitern Verhältnisse der Statik hinweist nach vollzogener Aufrichtung der Gestalt. Dieses Experiment ist nichts anderes als die Vorführung des allgemein bekannten **Mechanismus des Schlagbaumes** (Fig. 58, 59, S. 96).

Das Gelingen des Experimentes IX ist an zwei Voraussetzungen geknüpft, die auch in der Morphologie des menschlichen Körpers zu finden sind, und auf die wir schon wiederholt hingewiesen haben:

1. Vorhandensein einer Bruchstelle des Schlagbaumrohres vor dem Drehpunkt (Lendenknick);
2. Anbringen einer biegsamen und elastischen Zugstrebenvorrichtung, welche in der Nähe der Drehachse am Schlagbaumrohr ihren hintern Stützpunkt hat (System des M. sacrospinalis an der Columna spinalis).

Auch die Konstruktion des Lendenknicks entspricht nur dann der Wirklichkeit, wenn wir das Vorhandensein dieses Verstärkungsgrates des Druckbaumes, wie er bei sämtlichen Wirbeltieren und namentlich im Skelett einzelner Fischarten (siehe BREHMs Tierleben, VIII. Bd., S. 3) stark ausgeprägt ist, richtig würdigen. Der Druckbaum der Spindelform erhält hier geradezu eine Doppelkonstruktion, welche die Druckschwankungen, die sich durch Stoß und Zug am eigentlichen Druckbaum in empfindlicher Weise geltend machen können, auffängt und ausgleicht.

Für das Zustandekommen der anthropogenetischen Aufrichtung der Rumpfform ist diese Zugstrebenvorrichtung ebenso untentbehrlich wie das vorherige Auftreten eines Materialbruches im Druckbaumrohr der Form selber.

Hat das Experiment IX zur Voraussetzung, daß die Achse ungebrochen sei, und ist die Schlagbaumstange in ihrer Struktur unversehrt und gut ausbalanciert, so richtet sie sich auf den leisesten Zug hin auf, der an ihrem beschwerten Ende ansetzt. Es könnte das auch an einem länglichen Ballon noch in gleicher Weise ohne Zug erfolgen durch einfache Gewichtsverschiebung nach hinten zu. Dieser Fall tritt ein bei der statischen Mechanik, der mit noch ungebrochen „aufgerichteter" Rumpfachse einhergehenden Menschenaffen (Primaten), deren Wirbelsäule in utero noch keinen Lendenknick erhalten hat. Daher bleibt hier die Rumpfachse zeitlebens, wie die Wirbelsäule ungebrochen. Ja selbst beim Menschen ist die Analogie des Vorganges mit dem der Primaten — trotz des Vorhandenseins des Lendenknicks — bis zu einem gewissen Grade und bis zu einem gewissen Zeitpunkt der körperlichen Entwicklung noch nachweisbar. Die Betrachtung eines Kindes (Fig. 116), das die ersten Versuche des selbständigen Stehens macht, wird diese Behauptung stützen. In dieser Zeit der Entwicklung haben sich eben die Folgen des intrauterinen Wirbelsäulenbruches noch wenig geltend gemacht; auch ist die Stellung der Beinchen in dieser Phase der Entwicklung keineswegs etwa schon eine gestreckte. Sie ähnelt ebenfalls noch mehr der Beinstellung der Menschenaffen.

Figur 117.

Kind beim Stehenlernen.

Nun hat uns aber die Formanalyse der ausgewachsenen männlichen Beckenform gelehrt, daß die genetische Hauptachse des Beckenrohres, die als Teilstück der Längsachse der Rumpfform zu betrachten ist und welche zugleich die Neigung des Beckenrohres d. h. des hintern Quergurtensegmentes bezeichnet, im wohlausbalancierten Zustande beim männlichen und juvenil weiblichen Typus genau 45° geneigt erscheint (*G—Z*, Tafel I und II), aber beim weiblichen Typus $52\frac{1}{2}^{\circ}$, wenn wir auch hier die Hauptachse *GIIΣ* von der Mitte der Interspinallinie durch die Drehachse *II* legen wollen — bei der Einzahl einer solchen legen müssen —, wie aus der Analyse der weiblichen Form klar hervorgeht (Tafel VIII u. IX).

Die Hauptachse des menschlichen Beckenrohres entspricht nach vollzogener Aufrichtung der Stammform der Richtachse des ausbalancierten untern Stückes des Schlagbaumes nach erfolgtem Bruch der Stange bei *H* (Fig. 59). Das freischwebende obere Bruchstück des gebrochenen Schlagbaumes balanciert an der gebogenen Zugstrebe *KV* so lange hin und her, bis es ebenfalls ins statische Gleichgewicht kommt. Wenn es dabei nicht zu einer völligen Trennung der beiden Bruchstücke des Schlagbaumes kommen sollte, so ist dies völlig in der guten elastischen Beschaffenheit des organischen Materials gelegen.

Der Techniker (C. BACH, s. oben Fig. 39) gibt hierzu folgende Auskunft: „Die Voraussetzung, daß der Dehnungskoeffizient konstant ist, also gleich für Zug und für Druck, sowie unabhängig von der Größe der Spannung oder Dehnung, erscheint nur für gewisse Materialien (Schmiedeisen, Stahl) zulässig. Handelt es sich um zähes Material, so findet überhaupt kein Bruch statt. An die Stelle der Bruchfestigkeit tritt die Fließgrenze."

Diese Fließgrenze haben wir auch wirklich bei der Konstruktion des Lendenknicks beobachten können. Und welches technisch verwendete Material sollte in der Tat auch „zäher" sein als das organische, durch wirkliches „Fließen" der Moleküle in der plasmatischen Substanz entstandene. Es ist daher auch hier infolge der Überdehnung der Lendenwirbelsäule an ihrer Übergangsstelle in den Beckenring nicht zu einem eigentlichen Bruch, sondern nur zu einem „Überschreiten der Bruchfestigkeit" gekommen, wie sich der technische Autor ausdrückt.

Nach der erlittenen Biegung befindet sich das Belastungsmoment schon wieder im Gleichgewicht mit den durch dasselbe im Innern des Stabes wachgerufenen Elastizitätskräften, und dieser Gleichgewichtszustand ist zugleich ein stabiler geworden. Der Stab bleibt gebogen.

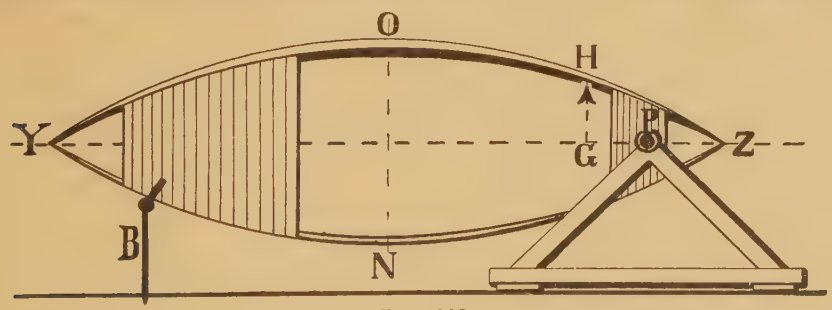
So überzeugend und getreu das Experiment am gebrochenen Schlagbaum den mechanischen Vorgang der Anthropogenese auch wiederzugeben vermag — in Tat und Wahrheit besteht noch ein freilich nicht mehr wesentlicher Unterschied zwischen Experiment und Lebensgeschehen. Es ist nämlich nicht eine frei beweglich balancierende Stange, die hier aufgerichtet wird, wie der geknickte Schlagbaum, sondern der Druckbaum eines Ballons halbstarren Systems, welch letzterer dazu noch in seinem Innern befrachtet ist mit Waren verschiedenartigster Provenienz und Beschaffenheit.

Dieser Ballon mit geknicktem Druckbaum soll aufgerichtet werden und dazu noch disloziert, und zwar in der aufgerichteten Stellung! —

Sehen wir zu, wie die Natur dabei vorgeht! — Theoretisch und an der Achse gemessen sind die Vorgänge am Schlagbaum und am gebogenen Druckbaum des Ballons einander durchaus analog.

Aufgabe XIV. **Aufg. XIV.**

Ein Ballon (Fig. 118) von der Gestalt eines länglichen Luftschiffes mit gerader, im Punkte *G* jedoch geschwächter Längsachse *Y—Z* soll auf den *Z*-Pol gestellt und in dieser Stellung unter möglichster Schonung seines verpackten Inhaltes auf der Erde forttransportiert werden.



Figur 118.

Der Rumpf des Vierfüßlers als „Ballon halbstarren Systems" im statischen Gleichgewicht.

Beginnende Schwächung des Druckbaumes vor dem Beckenring bei *H* angedeutet.

Voraussetzung: Der Ballon sei nahe an seinen Polenden *Y* und *Z* von je einem Versteifungsring erfaßt, welche dem Brust- und Beckenring der menschlichen Rumpfform entsprechen sollen. Diese beiden Ringe stehen auf der Rückenseite der Form unter sich in Verbindung mittelst eines Doppelsystems von Druckbäumen (Wirbelsäule und Sacrospinalsystem), von denen der innere, im allgemeinen zug- und druckstärkere durch lokale

Überbiegung bei *H* gelitten hat. Außer der Gasluft soll der Ballon in seinem Innern noch verschiedene Frachten aufnehmen; speziell ist ein größerer elastischer Schlauch, der in der hinteren (*Z*-)Hälfte auf der untern Ballonwand liegt, mit Wasser zu füllen.

Lösung der anthropogenetischen Aufgabe. Die Fracht wird in kleinen Ballen sorgfältig verpackt und diese in der hintern (*Z*-)Hälfte des Ballons am Druckbaum befestigt. Durch diese einseitige Verladung wird das Schwergewicht auf die hintere Seite des Ballons verlegt und das Aufrichten der Form auf den *Z*-Pol erleichtert. Für den Aufrichtungsakt selber ist die Bestimmung eines Drehpunktes auf der Längsachse *Y—Z* nötig, in dem sie sich bei der Aufrichtung drehen kann. Dieser Drehpunkt *P* liegt auf der Längsachse selber, und zwar in demjenigen Teil der Achse, wo sie durch den hinteren Versteifungsring hindurch geht. Hier erhält der Ring beiderseitig symmetrisch einen Zapfen, der in einem festen Widerlager drehbar ist. Oder auch umgekehrt: Falls der Versteifungsring dick und fest genug sein sollte, wird ein drehbarer kugelförmiger Zapfen in eine hohlkugelige Vertiefung des Ringes (Acetabulum) eingelassen. So richtet sich der Ballon von selber auf, sobald der Schwerpunkt des Ganzen in die hintere (*Z*-)Hälfte fällt.

Für die nun in Aussicht zu nehmende Dislokation der Ballonform empfiehlt es sich, gleich eine Radvorrichtung an der ideellen Querachse PP' anzubringen. Andernfalls genügt es, die Drehachse an der Spitze eines feststehenden dreieckigen Unterständers (Stativ, Fig. 118) anzubringen.

Dieser Unterständer hat zunächst den Vorteil, daß er die Ausbalancierung der innern Kräfte des Ballons mit den äußern ermöglichen hilft und allenfalls durch die nötige Beschwerung seines Fußes die Adhäsion des ganzen Apparates am Boden festhält.

Infolge der Versorgung der Fracht im hintern Raume des Ballons fällt auch der Schwerpunkt des Ganzen hinter die Mitte der Form; die leichtere vordere Hälfte richtet sich auf. Diese Aufrichtung würde so weit gehen, bis die Längsachse in die Vertikalebene zu stehen käme, wodurch der *Z*-Pol einseitig belastet und die dehnbare Ballonwand unterhalb des untern Umwandungsringes über Gebühr belastet und gedehnt würde.

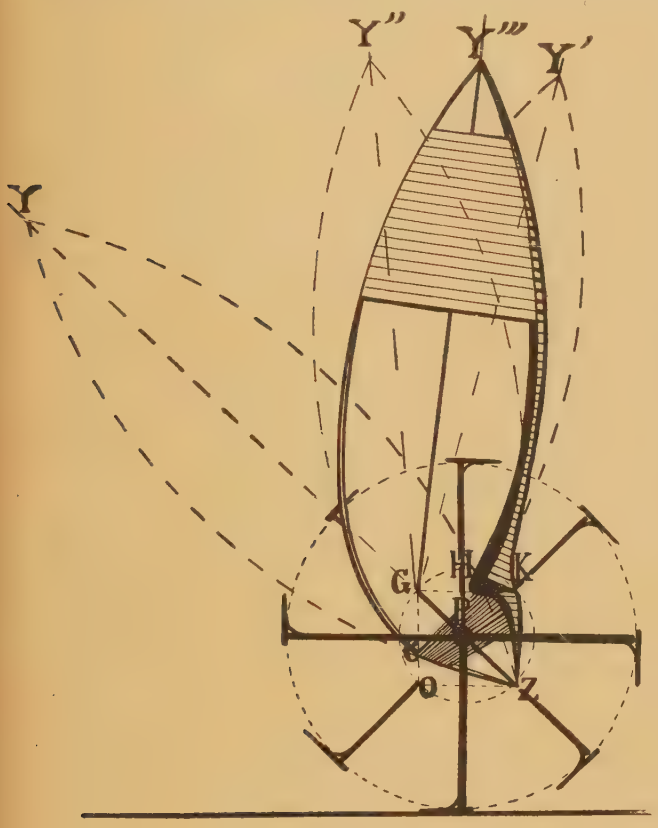
Diesem Mißerfolg des Experimentes begegnet nun aber — „glücklicherweise" sage ich — die nach der Voraussetzung an der Druckbaumstange vor dem Ring vorhandene Schwächung des Materials. Es kommt hier beim Ausbalancieren der inneren Kräfte auf halbem Wege der Aufrichtung zur Abbiegung des vorderen längern Teils der Form, indem das hintere Achsenstück (Beckenachse) unter bestimmtem Winkel (männlicherseits 45°) fixiert bleibt und das obere längere Stück der Rumpfachse dazu einen ebenfalls bestimmten und berechenbaren Winkel einnimmt. Das ganze Gelingen des Experimentes hängt ab von der richtigen Berechnung von Elastizität und Festigkeit des Wandungsmaterials einerseits und anderseits von der Expansionskraft, dem Gewicht und der Beweglichkeit der verladenen Fracht.

Zu der extremen Elevation der Längsachse — zur vollkommen vertikalen Aufrichtung der Rumpfachse beim Menschen — kann und darf es also nicht kommen und wenn es in der Tat beim anthropogenetischen Akt nicht dazu kommt, so haben wir dies wieder nur dem
L.S. 87. ontogenetisch vorgebildeten Lendenknick zu verdanken. **Die Mechanik der Anthropogenese ist die des gebrochenen Schlagbaumes. Ohne Lendenknick keine Menschwerdung!** — (Fig. 59.)

Es bildet sich auch beim Kinde, das sich aufzurichten beginnt, nach und nach ein gesichertes Verhältnis heraus zwischen innerer Belastung, innerer Zugfestigkeit und Widerstand des aufgerichteten Druckbaumes seiner Spindelform. Auch der intrauterin gebrochene Stab besitzt ja an der Bruchstelle noch eine gewisse Zug- und Druckfestigkeit, die sich beim Aufrichten der Wirbelsäule erst noch steigert, wenn diese einmal einen gewissen Elevations-

winkel erreicht hat. Das ist die eigentliche Promontoriumsbildung in der II. Beckenformierung nach vollständiger Ausbalancierung des Beckenendstückes.

Beim anthropogenetischen Akt scheint dies nun bei einem Elevationswinkel von 45° erreicht zu sein, in welchem die genetische und mechanische Beckenachse $Z—G$ nun endgültig stehen bleibt (männlicher und juvenil weiblicher Beckentypus).



Figur 119.

Die Statik des aufgerichteten Ballons halbstarren Systems mit bei HK geknicktem Druckbaume (Lendenknick.) — Lokomotion des menschlichen Torso durch Horizontalverschiebung des untern Achsenstückes ZG und Pendelbewegung des obern Achsenstückes $GY'''—GY—GY'$.

Der Elevationswinkel der Beckenhauptachse geht also hervor aus dem Ausgleich aller innern und äußern Kräfte der Form. Er ergibt sich erst aus dem Zusammenwirken aller Faktoren, die einerseits das Aufrichten der Längsachse der Körperform begünstigen und anderseits einem Weitergehen derselben hindernd in den Weg treten. Unter keinen Umständen aber dürfen die ersten Kausalmomente für des Zustandekommen der Anthropogenese anderswo als in der Stammform selber gesucht werden. Wir können daher die Auffassung E. FISCHERs, wonach sich zuerst der Fuß gebildet haben sollte, ganz und gar nicht mehr teilen.

*Lokomotion.**) Sind einmal durch Ausprobieren und Ausgleichen aller dynamo-statischen Momente die beiden ungleich langen Achsenfragmente ZG und GY''' der gebrochenen Spindelachse ZY ins statische Gleichgewicht gekommen, so bleibt in der Folge das kürzere untere Stück GZ an der Drehachse PP' mehr immobilisiert, als das längere schwankende Stück GY'''. Der Vorgang läßt sich am gebrochenen Schlagbaum trefflich illustrieren (Fig. 59). Die Beckenhauptachse GZ bleibt so relativ immobil und dient als Stütze für das Achsenstück GY''' des längern Rumpfstückes, das pendelnd darüber balanciert. Damit ist aber nicht nur die Möglichkeit einer Lokomotion gegeben, sondern es ist damit auch zugleich für einen möglichst gleichmäßigen subtilen Transport des ganzen Ballons und seines Inhaltes gesorgt.

Befestigt man nämlich nach obigem Vorschlag an den beiden Endpunkten der ideellen Drehachse PP' ein Rad oder einen befußten Speichenapparat so, daß die Speichen wechselseitig zu stehen kommen („Stand- und Gehbein"), so droht schon bei der leisesten Verschiebung

*) Siehe unten: 8. e) Statik und Lokomotion (Seite 321).

des Schwerpunktes die Form nach vorne umzukippen (Kipptypus der Bessemer Stahlbirne). Sie wird vom „Standbein" auf das anderseitige „Gehbein" gewälzt, das so zum Standbein wird. Das Rad kommt damit theoretisch und praktisch durch einfache Verschiebung des Gesamtschwerpunktes ins Rollen.

Es läßt sich also durch die Ballontheorie bei der liegenden Spindelform des Vierfüßlers auch die Lokomotion leicht und ungezwungen zurückführen auf eine einfache Veränderung der Rumpfform selber, der die Beinstellung notwendigerweise als Pendelbewegung folgen muß (Fig. 119). Diese Formveränderung entpuppt sich dabei ebenfalls wieder als eine Annäherung der länglicheren Spindel an die Kugelform und ein konstruktives Versteifen und Vorwärtswerfen derselben wie wir es in Figur 48 für die Quadrupedenform gezeichnet haben.

Da nun aber die aufgerichtete Spindelform des Menschen nur mehr eine einzige statische Querachse besitzt, und ihre Hauptachse außerdem gebrochen erscheint, so muß es uns in hohem Maße interessieren, wie sich hier der primäre Akt der Lokomotion vollzieht. Daß es dazu nur einer geringen Verschiebung des Gesamtschwerpunktes bedarf, ist von uns bereits erwähnt. Aber wir müssen auch hier — wie in unseren Betrachtungen immer — von dem einen Zeitmomente ausgehen, wo sich innere und äußere Kräfte im Stadium des stato-mechanischen Gleichgewichts befinden.

Dieses Gleichgewichtsstadium kann indes sowohl durch innere als äußere Kräfte gestört werden. Geschieht dies, so erfolgt entweder eine Verstellung der Teile unter sich (Gestaltsveränderung) oder eine Bewegung des Ganzen (Lokomotion) oder Beides zugleich. In allen Fällen kommt die Lagerelation des bewegten Teils zu einem relativ festen Fixpunkte in Betracht, gleichgültig, ob dieser die tragende Luft- oder Wasserfläche beim Flieger oder Schwimmer sei, oder der adhärierende Fußpunkt am Boden des Gängers. —

Aber auch die innere Gestaltsveränderung eines Organismus kann nach physikalischen Gesetzen erfolgen stets nur dadurch, daß sich relativ bewegliche Teile gegen einen relativ festen Punkt am Körper selber verstemmen. — Sehen wir uns dieses Funktionsprinzip vergleichsweise an der Spindelform mit ungebrochener und gebrochener Achse (unversehrtem und geknicktem innern Druckbaum) an, wie es sich in der liegenden Rumpfform des Vierfüßlers und abweichend davon in der der aufgerichteten des Menschen offenbart.

Das mechanische Prinzip der ungebrochenen Spindelachse ist dasjenige der einfachen elastischen Federbrücke. Die Annäherung der Form an die Kugelform geschieht durch Kontraktion der elastischen Zugstrebe und der Bauchgurte, wodurch die Endpunkte des Druckbaumes und der Längsachse sich gegenseitig genähert werden und der Druckbaum damit selber gespannt wird. Diese vermehrte Spannung wird sodann zur Lokomotion des Ganzen benützt, indem sich die gespannte Feder bei ihrer Entspannung mit dem hintern Federende auf einen Fixpunkt der Außenwelt stützt, und dabei sich streckend oder hüpfend zum Lagewechsel ausholt. Dabei ist es durchaus notwendig, daß diese hintere, schiebende Drehachse entweder durch die Längsachse der Form oder durch den Druckbaum selber geht. Die vordere Drehachse jedoch, die den Wurf oder Stoß auffängt, muß tiefer liegen als die Längsachse der Form (siehe Erster Teil, Fig. 48).

Diesem Prinzip der einfachen Federkonstruktion gegenüber vertritt der menschliche Organismus mit der Abknickung seines Druckbaumes in der Lendenwirbelgegend das Funktionsprinzip der elastischen Doppelfederbrücke. Die Endpunkte der gebrochenen Längsachse werden sich hier gegenseitig genähert durch Kontraktion desjenigen Teiles der Wandung, welcher der gebrochenen innern Feder unmittelbar anliegt. Es ist hier im Gegen-

satz zum liegenden Tierrumpf mehr das Rückensystem des M. sacrospinalis, durch dessen Kontraktion die Endpunkte Y und Z der gebrochenen Achse einander genähert und dadurch der Winkel YGZ verkleinert wird. Damit kommt es zu einer Spannung der Bauchgurte und damit wieder zu einer Annäherung an die Kugelform, die aber im extremsten Falle hier nur zu erreichen wäre nach dem völligen Zusammenklappen der Achsenstücke $Z—G$ und $G—Y'''$ durch vollständiges Verschwinden des Knickwinkels.

Da nun das untere Achsenstück, die Beckenachse ZG im Drehpunkt P balanciert und der Schwerpunkt des ganzen Systems senkrecht über diesem Drehpunkt liegt, so wird er durch die leiseste Kontraktion des Spinosacralsystems aus seiner labilen Gleichgewichtslage herausgeworfen. Daraus erklärt sich allein die unwidersprochene Tatsache, daß ein Mensch „mit versteiftem Kreuz" schlechterdings nicht zum Gehen gebracht werden kann. Durch die Ständertheorie ist diese Tatsache nicht so leicht erklärbar.

Nach erfolgtem dynamischen Ausgleich der elastischen Körpersubstanz mit der Energie der eingedrungenen Kontenta — so sagten wir oben — ist das Ganze eine Einheit geworden, eine „Einheit von größter Heterogenität der Teile". Seine aufgespeicherte Spannkraft kann jederzeit spontan totaliter oder partiell lokal ausgelöst werden auf die Einwirkung eines kleinen Reizes hin, sobald nur die nötige Maschinerie vorhanden ist, an welcher die vorhandene potentielle Energie in Arbeit umgewandelt werden kann. Jede Gestaltsveränderung aber entspricht einer Arbeitsleistung ebenso gut wie die Lokomotion selber.

Bei beiden Typenformen also, bei der mit ungebrochener wie der menschlichen mit der gebrochenen Achse, ist **die Lokomotion zurückzuführen auf eine primäre Gestaltsveränderung der Rumpfform und konsekutive Pendelbewegung der Extremitäten,** gleichgültig ob solche einpaarig oder zweipaarig vorhanden sind und so grundverschieden die statischen Verhältnisse bei diesen Typenformen in Tat und Wahrheit auch sein mögen. Verschieden ist nur die Partie der Rumpfwand, durch deren Kontraktion primärerweise die Rumpfform verändert und die innere Druckbaumanlage gebrochener- und ungebrochenerweise dadurch in Spannung versetzt wird (s. unten Statik und Lokomotion). L.S. 88.

Die ungleichen Längen der beiden Achsenstücke GZ und GY''' aber müssen bei Pendelbewegung der letzteren sehr ungleichen Ausschlag geben und so dürfen wir im Hinblick darauf sagen, ohne einen großen Fehler zu begehen: **Der aufrechte Gang des Menschen vollzieht sich durch Horizontalschub der in Elevationssteilung** (von 45° männlich und $52\frac{1}{2}$° weiblich) **statisch gesicherten Achse des Beckenendes und Pendelbewegung der darauf sich stützenden längeren Rumpfachse.** L.S. 89.

Wie erwähnt ist diese Pendelbewegung mechanisch dabei das Primäre. Ein Vornüberfallen der Form wird dadurch verhindert, daß abwechslungsweise bald eine Speiche des einen, bald eine solche des andern Gehrades (Körperseite) unterstellt wird (sekundäre Pendelbewegung der Beine).

Mit dieser höchst vereinfachten Darstellungsweise des lokomotorischen Bewegungsvorganges ist aber die neue Vorstellung über die mechanische Correlation zwischen Organismus und Erdball noch lange nicht erschöpft. Wir sehen uns genötigt, immer und immer wieder auf das Verhältnis von Formbildung M: Formerhaltung N zurückzukommen, dessen Konstanz uns begreiflicherweise anfangs nicht wenig überrascht hat, der Satz: Die Summe der formerhaltenden äußern Momente N ist größer als die Summe der formbildenden (M).

Noch sind wir uns immer nicht völlig klar über die Bedeutung, welche diese Gleichung im Grunde genommen hat. Wir werden sie erst inne, wenn wir uns in die Vorstellung vertiefen, daß eine Lokomotion des Organismus über einen anderen Gegenstand hin gleitend nur solange möglich ist, als ihn dieser anzieht und ihm Widerstand gibt. Es ist

also die tellurische Adhäsion, die wir gemeinhin Schwerkraft nennen, in Verbindung mit
L.S. 90. der Reibung, die uns die Fortbewegung ermöglicht. **Wir müssen uns auf etwas stützen, gegen die Außenwelt stemmen können, wenn wir uns fortbewegen wollen.** Ohne das wäre jede Kraftanstrengung unseres Gesamtkörperapparates, und wäre sie noch so groß, nutzlos und vergebens. Die Widerstandsmomente, auf die wir unsere Aktion abstellen, müssen also in jedem Falle größer sein als diese in ihrer Gesamtheit. Das gilt für die Tätigkeit eines jeden tierischen Organismus ohne Ausnahme, vor und nach erfolgter Dislokation. In allen Zeitmomenten beherrscht die Schwerkraft den Organismus und alle seine Teile, es muß daher die Selbststeuerungsvorrichtung in Form und Kraftwechsel stets regulierend einwirken, ansonst die Form Schaden leiden und der Organismus zugrunde gehen würde.

Doch ziehen wir in dieser Frage unsern Gesichtskreis noch weiter über das Tierreich hinaus, nachdem wir zuvor das Kapitel „Menschwerdung" durch einen Vergleich der ontogenetischen und phylogenetischen Kurve abschließend erledigt haben werden.

d) Die Körperproportionen und ihre innere Begründung.

Die Entdeckung eines bestimmten Konstruktionsplanes nach streng mathematischen und statischen Gesetzen im Beckengürtel machte es wahrscheinlich, daß dieser Plan nicht nur für dieses einzelne morphologische Gebilde gelte. Es ist dies auch dann noch wahrscheinlich, wenn man den menschlichen Beckenring als das wichtigste Organ bezeichnet für Statik sowohl wie Lokomotion. Wir werden daher, nachdem wir einmal das Bausystem gefunden, in der Annahme, daß sich das Konstruktionsprinzip der Beckenform auf die Gesamtkörperform ausdehnen lasse, ebenso wenig fehl gehen, als wir früher schon dieselben mechanischen Kausalmomente, die seinerzeit W. HIS nur für das Zustandekommen der menschlichen Gehirnform glaubte ins Feld führen zu müssen, für das Zustandekommen der ganzen Körperform verantwortlich gemacht haben. Unsere Tendenz soll ja immer mehr darauf gerichtet sein, den Körperkomplex als zusammenhängendes Ganzes zu betrachten, wenn wir den *Kausalzusammenhang zwischen Form und Funktion* verstehen lernen wollen.

Die Ballontheorie hat unsere Vorstellungen geläutert. Die „unabhängige Größe der statischen Funktion" ist die Rumpfachse, beim Menschen sowohl wie bei jeder Tierspezies: Alle andern morphologischen Adnexe: die Extremitäten, Kopf und Hals, Kaudalteile usw. bilden in Form und funktioneller Stellung den „abhängigen" Teil der Funktion. In diesem einfachen Umtausch von Ursache und Folge liegt das Neue unserer Theorie: darauf allein beruhen die Überraschungen, die alles mit viel größerer Leichtigkeit ergründen und erklären lassen.

Was nun im Speziellen die Gesamtkörperform beim Menschen anbetrifft, so kannten die Künstler aller Zeiten schon vom grauen Altertum an zur bildlichen und plastischen Wiedergabe derselben wohl allgemein gültige Proportionen der einzelnen Körperteile zueinander, und gar vielfach ist schon der Versuch gemacht worden, diese Proportionen in mathematische Gesetze zu kleiden, ohne daß es gelungen wäre, all den aufgestellten Systemen mehr als den Charakter einer mathematischen Spielerei zu sichern; *eine kausale Begründung* des genetischen und funktionellen Zustandekommens der Form ist meines Wissens nie geglückt. Selbst die unzähligen, mit größter Sorgfalt auf wissenschaftlicher Grundlage vorgenommenen anthropometrischen Messungen und Untersuchungen haben uns in der Erkenntnis der Kausalität der Form nicht weiter gebracht: Sie konnten das

Konstruktionsprinzip der menschlichen Körperform so lange nicht finden lassen, als das Ballonprinzip derselben uns verschlossen war.

Um die Richtigkeit unserer Behauptung darzutun, müssen wir aber trotzdem unsern weitern Untersuchungen die von den Anthropologen festgestellten Körpermaße- und -Proportionen zugrunde legen, ähnlich wie wir dies für die Topographie der Beckeneingeweide getan haben.

a) Projektion und Proportionen der menschlichen Rumpfform.
(Hierzu Tafel XVII und XVIII.)

Wir halten uns dabei an die Angaben des neuesten Lehrbuches der Anthropologie von MARTIN, das in seinen Tafeln übereinstimmend mit den meisten künstlerischen Auffassungen die Kopflänge $7^1/_2$ mal in der Gesamtlänge der menschlichen Körperform aufgehen läßt. Viele Künstler jedoch haben bereits einen Unterschied im proportionalen Verhältnis vom Kopf zur Gesamtlänge beim Manne und beim Weibe herausgefunden, und nach unsern kausalanalytischen Studien der Beckenform müssen wir auch die beiden Geschlechtstypen des Menschen gesondert in der bildlichen Wiedergabe nebeneinander stellen. Es geschieht dies, indem wir ähnlich wie MARTIN es tut, von beiden Typen, der männlichen und der weiblichen, je eine Seiten- und eine Frontalansicht geben und beide neben den Maßstab stellen, der die als allgemein gültigen proportionalen Verhältnisse von Kopf zur Gesamtlänge angibt.

Wenn wir nun auch diese Verhältnisse unsern Zeichnungen zugrunde legen, so fällt uns dabei ein, daß wir eben die Rumpfform als die maßgebende, d. h. unabhängige Größe der Funktion bezeichnet haben. Zweitens haben wir uns daran zu erinnern, daß die Achse der menschlichen Rumpfform gebrochen erscheint, d. h. einen nach vorn konvexen Winkel bildet, der seinen Scheitelpunkt in der horizontal liegenden Interspinalebene GG' hat. Dadurch erscheinen die beiden Achsenstücke in der Frontalansicht der Figur keineswegs in ihrem richtigen Größenverhältnis zueinander, wohl aber in der Seitenansicht. **Die Beckenachse wird im Frontalbild mehr verkürzt, als das obere, längere Bauchbrustachsenstück.** Dies ist namentlich beim Manne der Fall. Schon aus diesem Grunde sollen beide Geschlechtstypen bildlich nebeneinander erscheinen, und zwar so, daß wir zunächst die seitliche Projektion der Rumpfform beider Geschlechter wiedergeben und die so gefundenen Maße sodann auf die Frontalebene überprojicieren. Auf diese Weise können uns die richtigen Maßverhältnisse zueinander nicht mehr entgehen. L. S. 91.

Dabei kommt uns nun die genaue Berechnung der Beckenform sehr zustatten, die das konstante Verhältnis 1:1,2246 zwischen einem mechanistischen und einem statischen Kreise ergeben hat. Den erstern (*M*-Kreis) bezeichnen wir wie alle mechano-dynamischen Größen (Achsen, Konturen der Rumpfblase, Urinblase usw.) mit Blau, während die statischen Linien durch Rot wiedergegeben sind. Da nur das Verhältnis der mechanischen und statischen Größen zueinander ein konstantes ist, kann jede beliebige Größe als Einheit angenommen werden. Wir verwenden am besten hierzu die Größen unserer beiden im ersten Teil verwendeten Beckenparadigmen (siehe Tafel XVII und XVIII).

Bei der Projektion der Rumpfblase, der unabhängigen Größe der Form, ist nun wohl zu beachten, daß nicht nur das Promontorium in die Form verspringt, sondern daß auch die ganze Lenden- und Brustwirbelsäule die hintere Wand der Rumpfblase median eindrückt. In der Seitenprojektion wird somit das Lumen der letztern, durch die vorspringende vordere Kontur der Wirbelkörper medianwärts eingedrückt, während es rechts und links derselben nach hinten vorspringend diese überholt. Die obere Spitze der Rumpf-

fläche liegt symmetrisch über der Apex pulmonis utriusque, ist also höher zu suchen, als die Kontur der ersten Rippe. Das ist der obere Spindelpol der Rumpfblase.

Treffender und augenscheinlicher könnte der Beweis für die Richtigkeit der Lendenknicktheorie — wenn ein weiterer Beweis als die Konstruktion überhaupt noch nötig wäre — nicht erbracht werden, als durch den einfachen Anblick der doppelten Wellenkontur der Hinterwand der menschlichen Rumpfblase auf ihrer Seitenprojektion. Die Zusammenstoßung des Druckbaumes tritt beim Weibe noch deutlicher hervor als beim Manne.

Der obere Teil der Rumpfblasenachse, (die Brust- und Bauchachse), vom Projektionspunkt der Apex pulmonis bis zur Mitte der Interspianallinie GG' reichend, bezeichne ich kurzweg als „Rumpfachse", während der untere abgeknickte Teil derselben speziell den Namen „Beckenachse" trägt. Diese letztere ist in der aufrechten Stellung des männlichen und des weiblichen Individuums stabil, beim Manne unter dem Neigungswinkel von 45°; beim Weibe (Σ-Achse) steht sie unter $52\frac{1}{2}°$ Neigung.

Wir projizieren aus angeführtem Grunde zuerst seitlich den Beckenring als den wichtigsten statischen Bestandteil der Rumpfform und ziehen dazu den gefundenen mechanistischen (r-) und den statischen (R-) Kreis nebst der dazugehörigen gleichseitigen Dreiecks- und Viereckfigur und reihen daran die Projektion der ganzen Körpergestalt (nach MARTIN). Erst in zweiter Linie kommt die Frontalprojektion derselben durch Übertragen der gefundenen Körpermaße. Auf diese Weise glauben wir projektionstechnisch einwandfrei vorzugehen, um genaue Korrelationswerte für die Körperproportionen zu erhalten. Die Kontrolle hierfür liegt wieder in der konstanten Korrelation von $R:r$, den beiden Radien des mechanistischen formbildenden und des statisch-formerhaltenden Kreises. Sie sind für die ganze Körpergestaltung kausal maßgebend, und zwar bei beiden Geschlechtern wieder in etwas modifizierter Weise.

Suchen wir also zunächst die Proportionen der Rumpfachse an Hand des Einheitsmaßes R und r zu ermitteln. Die Rumpfachse GY mißt:

beim *Manne* $= \underline{5r}$ oder $\underline{4R}$

$= 5 \times 7{,}79 = 38{,}95$ $4 \times 9{,}545 = 38{,}180$

Differenz 0,77 cm

beim *Weibe* $= \underline{5r}$ oder $\underline{4R}$

$= 5 \times 7{,}9 = 39{,}5$ $4 \times 9{,}72 = 38{,}892$

Differenz 0,61 cm

Da die ideelle Beckenachse selber $2R$ beträgt, ist das statische

Verhältnis der Beckenachse : Rumpfachse genau:

$2R : 4R$

Fragen wir nach dem Grund dieser einfachen Verhältnisse, so scheint mir die Antwort naheliegend.

Bei keinem geraden Mehrfachen von r und R ist die Differenz so gering wie zwischen $5r$ und $4R$. Sie kommt auch der Verhältniszahl $\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{1.2246} = 0{,}8166$ am nächsten.

Setzt man vertikal auf das obere Ende der Rumpfachse ein R, so erhält man die Höhe der hintern Schädelbasis und damit die Grundlage für die Konstruktion des Kopfes (s. u.).

Die Frontalansicht der Rumpfblase, die durch Übertragen der Größen aus der Seitenprojektion gewonnen wird, bietet nun ebenso des Interessanten und Neuen viel, woraus wir nur hervorheben wollen:

Die Blasenform des Rumpfes wird durch die beiden Femoraköpfe in der wichtigsten statischen Horizontalebene PP' zusammengedrückt. L. S. 92. Dadurch ist das innere Kraftverhältnis der Rumpfblase gegen den äußern Druck der Femora, also

$$\frac{\text{Formbildung}}{\text{Formerhaltung}} \text{ oder } \frac{M}{N}$$

auch graphisch dargestellt.

Bemerkenswert ist ferner der Unterschied in der Stellung und Lage der Femoraköpfe bei beiden Geschlechtern und der daherigen Lage und Länge der statischen Achse $\Pi\Pi' : PP'$. Die Verlagerung der Femoraköpfe am weiblichen Beckenring nach vorne und oben und die Verkürzung der Drehachse beim Weibe hat bei demselben ein Zusammenstoßen der ganzen Rumpfform zur Folge gehabt, wie es an dem zwischen den beiden projizierten weiblichen Figuren angebrachten Einheitsmaßstabe zu ersehen ist.

β) Projektion und Konstruktion des Kopfes auf Γ_1, Γ_2 und Γ_3.
(Siehe Tafel XIX, *A, B, C.*)

Dem Kopfe, bis zur Höhe der Kinnspitze gemessen, kommt die Länge des Durchmessers des großen, statischen Beckenkreises zu, also $= 2R$.

Für die technische und graphostatische Konstruktion sind dann folgende Erwägungen wegleitend (s. Fig. 120 und Tafel XIX, *A, B, C*).

Die Stützpunkte der Kopfkugel liegen in einer vertikalen Frontalebene, die man sich durch die Mitte der Procc. condyloidei des Hinterhauptbeines und die Ansatzpunkte der Mm. sterno-cleido-mastoidei am Warzenfortsatz dieses Schädelknochens gezogen denkt (PP').

Es ist dies die statische Querebene oder die quervertikale Gleichgewichtsebene des Kopfes, auf welcher die sagittale mediane Gleichgewichtsebene senkrecht steht. Da der Kopf theoretisch symmetrisch gebaut ist, so muß das formgestaltende Zentrum irgendwo in diese letztere Ebene fallen. Seine Lage läßt sich aus dem Grundriß des Kopfes eruieren, da seine Konturen hier vom markanten Ansatzpunkt der beiden Jochbogen (J und J') aus nach hinten zu mehr als einen Halbkreisbogen beschreiben, dessen Zentrum N' im Durchschnittspunkt zweier beliebiger Sehnen ermittelt wird. Die Höhenlage dieses Zentrums läßt sich indes hier noch nicht ermitteln. Dazu sind noch die Projektionen auf die Frontal- und Seitenebene notwendig.

Auffallend genug fällt dieses mechanistische Kreis-(Kugel)-Zentrum nun in die Mitte der statischen Querachse, also mit dem statischen Zentrum zusammen, und noch auffallender ist dabei, was wir erst aus dem Frontalriß (Tafel XIX, *B*) wie aus der Darstellung der ganzen Körperform erfahren können, daß der Radius dieses Kugelstückes der Kopfform wieder dem Radius R des großen statischen Beckenkreises entspricht. Nach der Entdeckung dieser Tatsache hat man nun für die weitere Konstruktion des Kopfes leichtes Spiel, sofern man nur die drei senkrecht aufeinander stehenden Projektionen ausführt. Die Bezeichnungen dieser Projektionsebenen Γ_1, Γ_2 und Γ_3 entsprechen wieder denjenigen unserer Beckenprojektion und -Konstruktion.

Verbindet man nämlich auf Γ_3 (Grundriß) die beiden Jochbogenpunkte J und J' durch eine Gerade miteinander, so entpuppt sie sich sofort als Seite des eingeschriebenen Quadrates im großen Kreis der Schädelkontur, indem sie zugleich noch die hintere Grenze des knöchernen Palatinums bezeichnet. Sie entspricht also ganz und gar unserer Basislinie a der Beckenkonstruktion, welche zugleich auch als Sehne und Dreiecksseite des mechanistischen kleinen Beckenkreises zum Ausgangspunkte aller unserer mathematischen Berechnungen geworden ist. Das Zentrum M dieses mecha-

nistischen Kreises ist daher auch am Kopfe (Γ_3) nicht schwer zu finden. Auf Γ_1 und Γ_2 bestimmt sich seine Höhenkote in *M*.

Die weitere Konstruktion des Gesichtsteiles auf Γ_3 ergibt sich nun außerordentlich leicht durch Eruierung der Schnittpunkte für Oberkieferbogen usw., wie sie aus der Tafel XIX, *A* und *C* entnommen werden können.

L.S. 93. **So hätten wir wieder eine merkwürdige Übereinstimmung im Konstruktionsprinzip der Schädelform mit denjenigen der Beckenform zu konstatieren: Das Einheitsmaß bleibt für diese beiden Körperteile dasselbe.** Das Bauprinzip beruht bei beiden, wie auch in der Rumpfform auf der arithmetischen Verhältniszahl φ, $\frac{R}{r} = 1{,}2246$, die das geometrisch-mechanische und das statische Verhältnis zueinander regelt.

In einem Punkte freilich besteht zwischen der Kopf- und der Beckenkonstruktion dennoch eine kleine Abweichung, ungefähr ähnlich, wie sie zwischen dem männlichen und dem weiblichen Beckentypus zu konstatieren ist.

Erst als ich auf Γ_3 und Γ_1 von dem Zentrum *M* aus einen zweiten Kreis zu legen begann, der durch die beiden andern Eckpunkte *I* und *I'* bzw. *I''* und *I'''* des statischen Quadrates zu liegen kam, gewahrte ich, daß hier wieder eine ähnliche Modifikation in der Konstruktion zu beachten sei, wie die bei der *III.*, sexuellen Formierung im Beckenbau beobachteten. Auf diesen größern *M*-Kreis kommen nämlich nach dem Projektionsbilde zu liegen:

auf Γ_3: die Linea semicircularis (Ansatz der M. cucullaris) an der Hinterhauptschuppe; die beiden Jochbogenspitzen,

auf Γ_1: die Nasenspitze und die Zahnspalte an den Schneidezähnen.

Für die Kopfkonstruktion kommt somit zu den beiden bekannten Kreisen *r* und *R* noch ein dritter Kreis in Betracht, dessen Zentrum wieder im Zentrum *M* des formbildenden Kreises liegt und durch die beiden andern Eckpunkte des statischen Viereckes geht. Wir bezeichnen die Radien der drei Kreise (Fig. 119) mit r_1, r_2 und r_3; r_1 und r_3 sind formbildend; r_2 formerhaltend (statisch). Mit der Quadratseite $b = 1$ ist somit die ganze Konstruktion des Kopfes gegeben; denn es ist:

$$(r_1)^2 = \frac{1}{3} b^2; \qquad r_1 = 0{,}577$$

$$(r_2)^2 = \frac{1}{2} b^2; \qquad r_2 = 0{,}70659$$

$$(r_3)^2 = \frac{4 - \sqrt{3}}{3} b^2; \qquad r_3 = 0{,}8696.$$

Das Verhältnis der Radien der beiden formbildenden Kreise zu demjenigen des statischen (r_2) ist nahezu, jedoch — mathematisch nachweisbar(!) — nicht völlig genau gleich; denn es ist

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{1{,}2246} = \frac{0{,}81659}{1} = 0{,}81659,$$

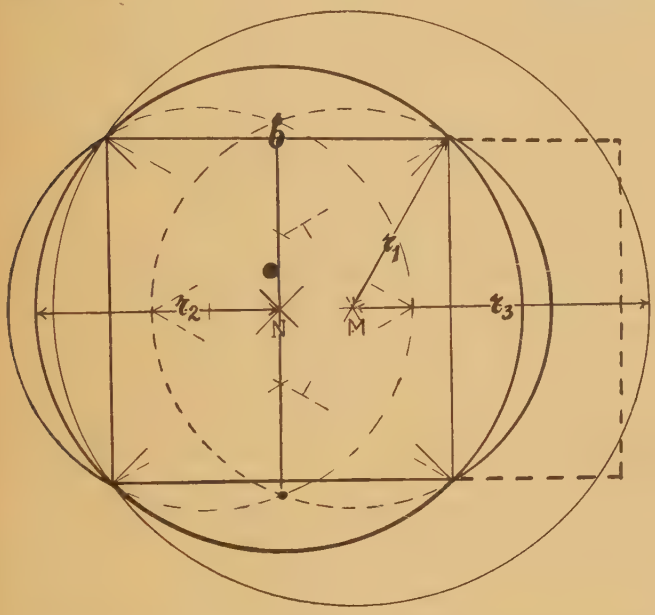
$$\frac{r_2}{r_3} = \frac{0{,}81314}{1} = \frac{1}{1{,}2298} = 0{,}81314,$$

$$\frac{r_1}{r_3} = \frac{0{,}6640}{1} = \frac{1}{1{,}506} = 0{,}6640.$$

In runden Zahlen beträgt das Verhältnis $r_1 : r_2 : r_3$

r_1	r_2	r_3
1,0	1,2246	1,3369
ca. 11	13	16
2		3

Es wird nun am Kopfe eine Ausgleichung zwischen Formbildung und Statik in der Weise geschaffen, daß sechs Raumteile des Kopfkubus vom schwereren Gehirn, zwei Raumteile desselben vom relativ leichteren Gesichtsteil des Kopfes mit seinen verschiedenen Höhlen beansprucht werden. Die vor der statischen Querebene NN' gelegene Hälfte wäre somit leichter als die hintere Kopfhälfte. Sie ladet dafür aber weiter nach vorne aus. Ein Ausgleich im Balancement der Kopfform kann somit nur dadurch zustande kommen, daß der Schwergewichtspunkt von hinten entsprechend nach vorne verlagert wird. Das geschieht in der Weise, daß er sich von N' nach M verschiebt und sich so mit dem neuen Formbildungszentrum M in der Lage identifiziert (Tafel XIX, *A*, *B*, *C*).



Figur 120.
Konstruktionsschema des Kopfes (Grundriß) durch einfache Kombinierung der Beckenkreisfiguren.

Die Verbindungslinie des statischen Stützpunktes N' mit M bildet die Achse des Keilbeines unter einem Neigungswinkel von $22\frac{1}{2}°$ zur Vertikalebene. Daß das mechanische Zentrum M zugleich zum statischen Zentrum wird, spricht durchaus für die Richtigkeit unserer allgemeinen mechanistischen Auffassung und ist bei der großen Stabilität der Lage aller Kopf- und Gehirnteile leicht zu begreifen. Die Zentren für Formbildung und Statik können also am Kopfe ihre Rollen wechseln, indem sie sich gegenseitig anerkennen und funktionell unterstützen.

Die Konstruktion der vordern Kopf- und Gesichtsteile ergibt sich im übrigen als eine „Fahnenkonstruktion", deren Graphostatik aus Fig. 120 leicht ersichtlich ist, so kompliziert sie auf den ersten Blick hin auch erscheinen mag. Die Winkelgrößen sind auf diese Weise nicht nur leicht zu berechnen, sie sind auch dynamisch in ihrer Kausalität erklärt und von wunderbarer Einfachheit der baulichen Konstruktion, trotz der morphologischen Mannigfaltigkeit.

Von einer „Zweckmäßigkeit" derselben wollen wir nicht mehr reden, da diesem Be-Begriff stets die prädestinierte höhere Plananlage vorausgehen muß. **In der Konstruktion der organischen Substanz vollzieht sich alles auf natürliche Weise nach den einfachsten Gesetzen der Mechanik und Statik, nach dem Prinzip der Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel.** L.S. 94.

Die Darstellung des Kopfes auf der *Frontalebene* Γ_2, wieder nach der Tafel XIX, *B* aus dem Atlas von SPALTEHOLZ kopiert, und mit den Figuren auf Γ_3 und Γ_1 auf einheitliches Maß gebracht, enthüllt sich auf den ersten Blick hin wieder als eine Tangentenkonstruktion des roten Kreises. Morphologisch ist sie äußerlich schon gekennzeichnet durch die Anlage der Mm. sterno-cleido-mastoidei.

Nichts wäre geeigneter, *das Prinzip der Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel* zu demonstrieren, als der Vergleich der bildlichen Wiedergabe der mathematischen Form und des Kraftsystems im Bau des menschlichen Kopfes und des Beckenringes. Damit ist auch das Rätsel gelöst der morphologischen Formgestaltung und der funktionellen Anpassung, ein Thema, das in neuester Zeit mit Recht so aktuell geworden ist, dessen Lösung und erschöpfende Behandlung jedoch, wie die im nachfolgenden Abschnitt zur Behandlung gelangende Untersuchung über die Lokomotion nur möglich geworden ist auf Grund der Ballontheorie und an Hand einer zuverlässigen Vertikalorientierung mit Parallelprojektion, sowie an Hand einer Wiedergabe der Form und ihrer Kraftlinien, die, wenn man sie einmal erkannt hat, an der Körperform und ihren Kraftorganen selber aufs schönste als solche dem Auge sich präsentieren.

Die Berechnung des statischen Gleichgewichtes am Kopfe ergibt sich auf Γ_1 aus der Länge der beiden Hebelarme vor und hinter der vertikalen Gleichgewichtsebene $N'N$ vom Schwergewichtspunkt N ab gerechnet, also der beiden Geraden NF und NO.

Da das Verhältnis der Kreisradien r_1, r_2 und r_3 zueinander ein festgelegtes konstantes ist, so können wir für den ersten Radius jede beliebige Zahl annehmen. Der Einfachheit halber nehmen wir für den kleinen Kreis r_1 die Größe m, wie wir sie am männlichen Becken gefunden, also $r_1 = 7{,}79$, dann ist $r_2 = 9{,}545$, $r_3 = 11{,}77$ und $m = 2{,}83$. Aus der Konstruktion Γ_1 ergibt sich nun die höchst einfache Berechnung des statischen Momentes, denn es ist:

$$NF = m + MF; \quad MF = \sqrt{\frac{(r_3)^2}{2}}; \quad NF = 11{,}1526.$$

Ferner ist $NO = r_3 - m = 8{,}94$.

Nehmen wir das statische Moment $NF = 1$, so ist dasjenige von

$$NO = x = \frac{NF}{NO} = \frac{11{,}15}{8{,}94} = 1{,}2,$$

um welches Moment der Zug am Hinterhauptspunkt O (Cucullaris-System) größer sein muß, um den Kopf im statischen Gleichgewicht zu halten. Der Kopf steht also wieder wie der männliche Beckenring im labilen Gleichgewicht, da sein Schwerpunkt N über der stützenden Drehachse QQ' liegt (Γ_3). Die Ausladung der Form (NF) nach dem Gesichtsteile zu ist somit um $\frac{1}{4}$ größer als der Hinterhauptshebel NO, denn das Verhältnis der beiden Hebelarme zueinander ist:

$$NF : FO = 11{,}15 : 8{,}94 \doteq 5 : 4 \text{ oder } 1{,}2 : 1.$$

Diese Verhältniszahl entspricht also wieder ziemlich genau der Größe der Konstanten φ zwischen den beiden Radien des formbildenden und formerhaltenden Beckenkreises; es ist hier jedoch aus den beiden Kraftarmen der Kopfform berechnet worden und als das elastische Zugs- bzw. Festigkeitsmoment des menschlichen Artprotoplasmas zu betrachten.

γ) Konstruktion und Proportion der Extremitäten.
(Tafel XVII und XVIII.)

Nach dem anthropometrischen System von MARTIN, das die Proportionen der ganzen menschlichen Körperform von der Sohle an gerechnet bis zum Scheitel wiedergibt in Übereinstimmung mit den Angaben der meisten antiken, mittelalterlichen und neuern Künstler der darstellenden und plastischen Kunst, entfallen vier Kopflängen (Scheitel—Kinn) auf die Beine von der Fußsohle bis zum Hüftgelenk an gerechnet. Die Künstler nehmen beim Aktzeichnen diese Kopflänge als Einheit; sie ist in der ganzen Form $7\frac{1}{2}$ mal enthalten, wobei

also vier Einheiten auf die untern Extremitäten entfallen. Nach unserer Konstruktion des Kopfes aber entspricht dieses Einheitsmaß genau dem Durchmesser des statischen Beckenringes $= 2R$; es ist also für die Konstruktion der ganzen Körperform des Menschen verwendbar.

Dabei sind zwei Gedanken zu wiederholen:

Einmal muß nochmals auf die Bedeutung des Beckenringes als versteiftes Quergurtensegment und Befestigungsgurte der statischen Drehachse und des lokomotorischen Stütz- und Gehapparates hingewiesen werden und zweitens darauf, daß der Rumpf die „unabhängige Größe der Funktion" darstellt, während die Extremitäten die „abhängigen" Größen sind. Das involviert ohne weiteres, daß die graphostatische Darstellung der ganzen Körperform von dieser Drehachse auszugehen hat.

Das Vorgehen des Künstlers hat seine speziellen Gründe technischer Natur, wenn er sein Aktstudium am Scheitel beginnt; die gebräuchliche anthropometrische Messung geht nach alter Übung umgekehrt von der Standfläche aus, die sie als Nullebene ansieht. Daß wir für das Beckenstudium aber eine andere Orientierungsweise mit höher gelegenem Nullpunkt angenommen haben, hat sich nicht nur für die Darstellung und Konstruktion der Beckenform selber glänzend bewährt — auch für die Formanalyse der ganzen menschlichen Körperform ist sie gerade deshalb von entscheidendem Wert, weil das Kausalitätsmoment hierbei weit mehr in die Augen springt.

Die beiden Endpunkte P und P' der ideellen horizontalliegenden Balancierungs- oder Drehachse sind die Angriffspunkte der äußern Kräfte an den stützenden Extremitäten. Sie sind zum Femurkopf massig verdickt. Beim männlichen Typus liegen sie auf der Peripherie der statischen Kugel, durch deren Zentrum die Drehachse horizontal hindurchgeht.

Die quere Drehachse muß daher zum Ausgangspunkt der ganzen konstruktionellen Darstellung der Körperform gemacht werden. Sie liegt 4 Einheitsmaße $= 8R$ von der Standfläche der Körperform und $3\frac{1}{2}$ Einheitsmaße $= 7R$ vom Scheitelpunkt der letzteren entfernt. L.S. 95.

Für die konstruktionelle Darstellung der Form wäre es nun wünschenswert, wenn wir die Gesämtlänge von $15R$ halbieren könnten, d. h. wenn man einen morphologischen Punkt, der auch äußerlich an der Form markant hervorträte, als Halbierungspunkt der Gesamtkörperlänge bezeichnen könnte. Die Künstler nehmen bekanntlich dafür die Mitte des Schamberges (mons pubis) und gehen damit im ganzen nicht weit fehl. Für unsere mathematischen Berechnungen ist diese Angabe jedoch ungenügend und ungenau. Wir müssen eine bessere Anlehnung an das geometrische System suchen.

Die geometrische Mitte der Körperlänge wäre gefunden, wenn wir am Beckengurt irgendeinen Punkt bezeichnen könnten, der genau um $\frac{1}{2}R$ tiefer stände als die Drehachse PP'. Es betrüge dann die untere Hälfte $8R - \frac{1}{2}R$, die obere $7R + \frac{1}{2}R$; Scheitelpunkt und Sohlenfläche stünden somit in gleichem Abstand von diesem verifizierten Mittelpunkt entfernt.

Wir nehmen zu diesem Zwecke Tafel I und II unserer Beckenanalyse zur Hand, wo wir seinerzeit die ersten Entdeckungen des geometrischen Systems gemacht haben.

Der Projektionspunkt P der Drehachse verzeichnet dort eine Ordinatenhöhe von 6,75 cm (Tafel I). Da der Radius $R = 9{,}545$ cm beträgt, so ist $\frac{1}{2}R = 4{,}772$ cm. Setzt man also den gesuchten Punkt auf eine Höhenkote $6{,}75 - 4{,}772$ cm, so erhält man seine Lage mathematisch genau auf Kote 1,978 cm.

Dieser Höhencote aber entspricht mit genügender Genauigkeit am männlichen Typus die Lage des Scheitelpunktes A des Angulus pubis mit 1,96 cm, den wir schon

gleich im Anfang unserer analytischen Studie neben dem Drehpunkt *P* als den wichtigsten Punkt der Beckenmechanik angesprochen und begrüßt haben. Seine Bedeutung für die Entwicklung der ganzen männlichen Körperform steht damit neuerdings außer Zweifel.

Für die spezielle *Konstruktion der untern Extremitäten* aber hat man vom obern Endpunkt derselben, von Drehpunkt *P*, dem ideellen und virtuellen Zentrum des Femurkopfes auszugehen.

Im aufrechten Stehen des Individuums, — wir sprechen zunächst nur vom männlichen, — zeichnet sich in der Frontalansicht die Vertikalebene, die wir durch dieses statisch wichtige Zentrum der Drehachse legen, meist durch eine scharf markierte Linie aus, die von der Mitte des Femurschaftes nach der scharfen äußern Kante der Facies patellae hin verläuft. Dabei stehen freilich die beiden untern Kondylenflächen nicht beide auf der Horizontalebene auf, indem der Condylus extern ca. $\frac{1}{2}$ cm höher zu stehen kommt. In der Mitte des Schaftes aber wird diese Spurlinie der Vertikalebene geschnitten von der „Schaftachse", die wir von der vordern Kante des Condyl. intern. nach der Trochanterspitze hinziehen, und die sich am skelettierten Knochen so deutlich abzeichnet, daß der Winkel sich mit groben Mitteln berechnen läßt zu ca. $-11°$, genauer zu $11\frac{1}{4}° = \frac{22\frac{1}{2}°}{2}$. Der Scheitelpunkt dieses Winkels liegt vom Zentrum des Femurkopfes 19,0 cm entfernt $= 2 \times 9{,}54 = 2R$. Auch die untere Hälfte der Schaftachse hat genau dieselbe Länge, bis zum Rand der Gelenkfläche gemessen. Da nun aber die Ruhestellung der Oberschenkel von der rein vertikalen Stellung beträchtlich abweicht, indem er, wie am Bänderbecken nachweisbar ist (s. Tafel VII), in einem Beugewinkel nach vorne verläuft, so fällt die Kreislinie, die wir vom Femurkopfe aus mit der Zirkelöffnung $= 4R$ beschreiben, etwas tiefer. Sie fällt genau in die Spalte des Kniegelenkes. Der Abstand $= 8R$ aber gibt den Abstand der horizontalen Stand- oder Sohlenfläche vom Femurkopf.

Von dem Stützpunkte der Form in dieser Sohlenfläche aus ziehen wir die Kraftlinien nach dem Tuber ischii (*L*) hin; ihre Verlängerung kreuzt die mediane Gleichgewichtsebene des Rumpfes im Kulminationspunkt (*I*) des mechanistischen (blauen) Kreises und fällt noch höher oben mit der Richtung des anderseitigen M. cleidomastoideus zusammen, jener Tangentenlinie, welche die Kopfform seitlich berührt (Tafel XVII und Tafel XIX, *B*). Ich möchte diese ausgesprochene Kraftlinie der Form die „Adduktorenlinie" benennen, indem sie als Fortsetzung anzusehen ist der innern Kantenlinie dieses Muskelkomplexes vom Cond. int. femoris bis zum Tuber ischii. Die weitern Details der Konstruktion der untern Extremitäten ergeben sich aus Tafel XVII und XVIII, *A* und *B*.

Die oberen Extremitäten hängen seitlich zu beiden Seiten des Rumpfes an einer Bogenlinie, die vom Kulminationspunkt *I* der Beckenkonstruktion aus durch die Spitze der Rumpfspindel geführt wird. Für die Länge der Ober- und Vorderarme habe ich weder mechanische noch statische Einheitslängen herausgefunden. Nur an der Hand scheint der Radius *r* des mechanistischen Kreises maßgebend zu sein für die Länge: Handwurzel-Fingerbasis einerseits und Fingerbasis-Fingerspitze anderseits.

Wagen wir nun zum Schluß den Versuch einer

Synthese der Gesamtkörperform (Tafel XX),

die nicht nur, wie das schon vielfach geschehen, rein spekulativ aus aufgestellten mathematischen Reihen heraus die Form konstruiert ohne auf den „morphologisch-biologischen Zusammenhang der Teile und ihre gegenseitige Abhängigkeit" zu achten, sondern vielmehr eine Rekonstruktion der Form bedeutet, die zugleich auch auf die Kausalität abstellt als das Ergebnis eines funktionell mechano-statischen Ausgleiches zwischen Kraft und

Last, Aktion und Reaktion der spezifischen Körpersubstanz mit ihrer Innen- und Außenwelt. Wenn diese synthetische Darstellung der Form richtig ist, so muß sie auch in ihrer einzelnen Phase die Kausalmomente wiedergeben und so die verschiedenen Positionen der ontogenetischen wie der phylogenetischen Entwicklung widerspiegeln.

I. Akt: Proportionierung der Rumpfform nach den drei Hauptdimensionen des Raumes hin. Achsenlegung: Zwei gleich lange, senkrecht aufeinander stehende Nebenachsen von der Einheitslänge *R*. Die Längsachse, auf der Ebene der Nebenachsen senkrecht stehend, hat die Länge = 6 *R*.

II. Akt: Längsachse mit drei gleichwertigen, weil gleich belasteten Abschnitten horizontal liegend.

III. Akt: Ungleichmäßige Belastung der drei Abschnitte der Längsachse. Schaffung von Widerlagern, Stützpunkten und ungleichmäßigen innern Widerstandes: Druckbaumanlage und Quergurtensysteme; Bestimmung des beweglichen Gesamtschwerpunktes der Form. Unterstützungsebene horizontal oder schief auf- oder absteigend. Zwei Paar Speichen von verschiedener Länge. Massierung der statischen Stützpunkte (Quadrupedentypus).

IV. Akt: Die Verlegung des Gesamtschwerpunktes nach hinten ermöglicht die Aufrichtung des vordern Endes der ungebrochenen Längsachse des Rumpfes bis zum Elevationswinkel von 45°; als Gegengewicht dient der lange Kaudalansatz der Wirbelsäule, der Schwanz. Die hintere Extremität (Hauptstütze) steht gebrochen, mit ihrer obern Hälfte senkrecht zur Hauptachse des Rumpfes, das Balancement erfordert relativ große Länge der Beine und Füße. — Typus der Primaten.

V. Akt: Infolge des ontogenetisch intrauterin entstandenen Lendenknicks wird die Achse beim Aufrichtungsakt zwischen II. und III. Drittel gebrochen. Das III. Drittel bleibt als Beckenachse unter dem Elevationswinkel von 45° stehen, das I. und II. schwankt als Rumpfachse pendelnd am Druckbaum darüber und sucht das statische Gleichgewicht auf (Mechanik des gebrochenen Schlagbaumes — anthropogenetischer Akt).

VI. Akt: Umformierung des Rumpfes nach der neuen Statik im labilen Gleichgewicht, mit Abrundung des Beckenendes und Ausweitung des Beckenringes. Der neue formbildende mechanistische Kreis mit dem Zentrum *M* tritt in geometrische und statische Funktion zu dem statischen *P*-Kreis. Rumpfachse (I und II) und gebogener Druckbaum stellen sich wieder möglichst in parallelen Verlauf. Letzterer tangiert in seiner geraden Verlängerung nach unten hinten den massierten Femurkopf und geht in die Schaftachse des Oberschenkels über.

VII. Akt: Alle Proportionen der Annexe des Rumpfes sind „funktionell abhängig" vom *P*-Kreis oder vom *M*-Kreis geworden. Als Vermittler im Bauprinzip der Gesamtform gilt der Scheitelpunkt *A* am Angulus pubis, der in seiner Lage selber Funktionär des *P*- wie des *M*-Kreises ist (B.S. 3 u. 4). Er steht beim männlichen Typus in gleichem Abstand von der Scheitel- wie von der Sohlenebene (Seite 317).

Für die konstruktionelle Synthese der weiblichen Körperform ergeben sich hiervon folgende Abweichungen:

Zu beachten ist, daß durch die geschlechtliche, dritte Ausweitung des weiblichen Beckenringes:

1. die statische Querachse nach vorn oben verlagert ist,
2. der wichtige mechano-statische untere Symphysenpunkt *A*, der wieder die Mitte der ganzen Rumpfform bezeichnet, dagegen nach unten tritt und

3. daß die weibliche $G\Sigma$-Beckenachse eine steilere Stellung, umgekehrt die Rumpfachse, die mit jener unter demselben Knickwinkel steht, eine weniger steile Stellung erhält als beim Manne. Man pflegt bekanntlich zu sagen: „Das Kreuz ist beim Weibe mehr eingezogen als beim Manne". Der Höhepunkt der Ausbildung dieses weiblichen Typus wird beim Hottentottenweibe erreicht, indem sich hier noch die Steatopygie hinzugesellt.

Die Schenkellänge vom Femurkopfzentrum bis zur Sohle beträgt auch hier 8 R, ist also wieder doppelt so groß wie die Länge der Rumpfachse $= 4R = 5r$. In der Frontalprojektion aber erscheint die obere Hälfte des weiblichen Körpers aus oben bezeichneten Gründen mehr in sich zusammengestoßen, so daß die Proportionen keineswegs mehr so offensichtlich sind, wie beim männlichen Typus. Es ist dies schon aus dem Grunde nicht mehr der Fall, weil infolge der stärkeren Rückwärtsneigung ihrer Achse in der Frontalansicht die Rumpfform stärker verkürzt erscheint.

* * *

Soweit die Synthese der Form, wie sie sich aus den Proportionen ihrer Teile konstruieren läßt unter Berücksichtigung der verschiedenen selbstgeschaffenen Positionen der Statik in der höhern Entwicklungsreihe des Tierreiches! —

Die Kausalmomente für die Schaffung jeder neuen Position sind uns jetzt genügsam bekannt. Sie liegen, wie wir gesehen, zumeist in der Verschiebung des Gesamtschwerpunktes der tierischen und menschlichen Körperform begründet. Da das wichtigste der äußern Kraftmomente, die tellurische Anziehungs- oder Schwerkraft sich mit dem geographischen Standpunkt des Individuums nur allmählich und unmerklich verändert, so müssen die Bedingungen für einen statischen Positionswechsel in der phylogenetischen Entwicklung, welcher gleichbedeutend ist mit einer Gestaltveränderung der Form, in dieser letztern, also im Organismus selber gelegen sein. Verschiedenartige und verschiedengradige Belastung der organischen Substanz — innere sowohl wie äußere, führen auf dem Wege verschiedenartiger Reaktion des Stoffes notwendig zu verschiedenartiger Konstruktion und Organisation der Substanz, indem dabei beispielsweise die Schwerkraft unverändert an verschieden langen oder anders gearteten Hebelarmen arbeitet. Darin liegen alle Geheimnisse der Entwicklungslehre und Entwicklungsmechanik verborgen, und die Conditio sine qua non liegt in der Heterogenität der tierischen Substanz, des spezifisch gebauten und in dieser Spezifität vererbten Artprotoplasmas, speziell seines plasmatischen Bestandteiles *p*.

Das Gegenstück dieser Synthese der Form, die sich aus den gegebenen Proportionen der vollendeten menschlichen Körpergestalt ableitend konstruieren läßt, ist die ontogenetische Synthese gewesen, die wir im Ersten Teil der Arbeit (S. 109) als „mathematische Evolution" bezeichnet haben. Heute würde ich korrigierend „geometrische oder mechanische Evolution" sagen im Gegensatz zur eben durchgeführten statischen, phylogenetischen. Auch bei jener ist es gelungen, aus einer einzigen gegebenen Größe heraus auf einfachste konstruktionelle Weise die Entwicklung der ontogenetisch sich aufbauenden Form zu erklären, gleich wie bei der statischen Synthese phylogenetisch sich eine statische Position aus der andern ergibt (Tafel XX). Selbst das ursächliche Moment für die Entstehung der konstanten Verhältniszahl zwischen Mechanik und Statik hat sich geometrisch konstruktiv nachweisen lassen.

Jetzt erst kann die berühmte Vexierfrage von weitgehenster Bedeutung: War zuerst die Henne oder war zuerst das Ei? mit aller Bestimmtheit wissenschaftlich dahin beantwortet werden:

Die ontogenetische Größe ist das Primäre, die „unabhängige Größe" der genetischen Funktion; die phylogenetische, statische ist die abhängige, sekundäre. L.S. 96.

Damit aber ist der Begriff der biologischen Funktion ebenfalls auf einen rein mathematischen Boden gestellt.

e) Statik und Lokomotion.

Der Ausdruck „Lokomotion" bedeutet eine Bewegung des Gegenstandes von Ort und Stelle, an der er sich vor der Bewegung befunden hat. Und zwar versteht man gewöhnlich darunter nur die „aktive Bewegung" eines organischen animalen Körpers, im Gegensatz zur passiven Bewegung eines anorganischen.

Um sich von Ort und Stelle bewegen zu können, bedarf der Körper nicht nur einer besonderen Kraft; denn zu jeder Bewegung, auch der eines in Bewegung gesetzten anorganischen Körpers, ist stets eine solche treibende Kraft notwendig. Nach ARCHIMEDES müssen hierzu noch ein oder mehrere Stützpunkte gegeben sein, auf die sich der Körper bei seiner Fortbewegung stützen, gegen die er sich stemmen kann. Dieser Satz gilt sowohl für die Fortbewegung im Wasser, in der Luft wie auf dem Festlande. Schon aus diesem Grunde ist an der Ansicht festzuhalten, daß die äußern Kräfte N, die dem sich bewegenden tierischen Organismus bei seiner Lokomotion den nötigen Widerstand darbieten, in ihrer Gesamtheit größer sein müssen als die innern in Aktion tretenden Kräfte M des Organismus selber. Es hat daher schon beim animalen Organismus N stets größer zu sein als M.

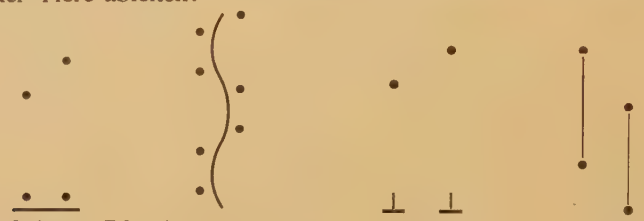
Faßt man die Lokomotion beim einfachsten tierischen Organismus ins Auge, so beruht sie immer auf einem Wechsel der Form, auf einer Gestaltsveränderung, und ohne eine solche ist die Lokomotion durch innere Kräfte kurzer Hand undenkbar.

Die Amöbe verändert ihre Grundform — die Kugelform, indem sie sich an irgendeinem Punkte ihrer Oberfläche gegen ihre Außenwelt verstemmt und in entgegengesetzter Richtung ihre Gestalt ausbuchtet, „ausladet", „vorstülpt", sich hier sodann wieder verstemmt, den ursprünglich festsitzenden Teil ihres protoplasmatischen Leibes kontraktorisch nachzieht; dadurch nähert sie ihre Leibesform neuerdings wieder mehr der Kugelform. — So die Ortsbewegung der Amöbe. Sie ist der Prototyp für die Lokomotion jeder Tierspezies im Wasser wie auf der Erde.

Wir haben schon im Ersten und im Zweiten Teil (L.S. 88) in Kürze darauf hingewiesen, daß auch der primäre lokomotorische Akt des Quadrupeden unbedingt in einer Formveränderung der Rumpfform zu suchen ist, beruhe diese zunächst in einer Streckung oder in einer Verkürzung derselben. Aus diesem Satz aber leitet sich sofort die Notwendigkeit ab, die Körperform in allen Phasen der Lokomotion nach allen Richtungen des Raumes hin zu messen, um die mechanisch-statischen Achsen der Form und die Gewichtsverteilung der Form darnach eruieren zu können.

Bei der Spindelform des Quadrupedenrumpfes gibt sich nämlich beispielsweise die Annäherung an die Kugelgestalt durch die relative Zunahme der Querachsenlängen zu erkennen. Der median gelegene Schwerpunkt wird dabei, sofern er nicht konzentrisch liegt, in der Richtung der Längsachse der Spindel verschoben. Der dorsal gelegene Federmechanismus des Druckbaumes der Rumpfspindel wird gespannt („Versammeln des Pferdes"). Er ist zum Losschnellen bereit und geht durch Streckung der Form zum „Sprung" über, indem das Tier mit seinem hintern Ende abstößt. Der Vorgang ist also vergleichbar mit dem Fischbein oder der Stahlfeder, die man zwischen zwei Fingern spannt und dann „springen läßt", wobei sie meterweit wegfliegt. Diese Art der Lokomotion ist somit eine Stoß- oder Sprungbewegung. Sie kann stets nur in der Richtung der Längsachse der Spindelform vor sich gehen.

Eine zweite Art der „spontanen Bewegung“ ist ferner möglich durch Verlegung des beweglichen median gelegenen Schwerpunktes nach einer der beiden Seiten hin; auch hierbei kann nur eine Gestaltsveränderung der Rumpfform das Primäre, die Bewegung der Extremitäten das Sekundäre sein. Sie erfolgt diesmal durch eine einseitige seitliche Spannung des Druckbaumsystems und hat zur Folge, daß die eine Rumpfhälfte belastet, die andere dagegen entlastet wird, wobei die beiden Extremitäten der letztern frei werdend nach vorne pendeln. Diese Bewegungsart — „Rüttelbewegung“ — entspricht der gewöhnlichen Gangart der meisten Quadrupeden. Beim Pferd, dessen Gangarten wir am besten kennen, ist es der Trab, während sein Galopp gleich wie der Sprung des Hasen „Sprungbewegungen“ sind. Der Unterschied beider Bewegungsarten läßt sich prägnant aus den Fußspuren der Tiere ableiten:



Figur 121.
Fußspuren.

Die spiralförmigen Schling- und Bohrbewegungen der skelettlosen Tiere, die nur in einem gleichmäßig homogenen Medium (Wasser, Erde) vorkommen, kann als ein Mittelding zwischen Werfen und Rütteln aufgefaßt werden, steht aber dem letztern insofern näher, als beim Fehlen des dorsalen Druckbaumes die Formveränderung nach allen Raumrichtungen hin als „seitliche“ bezeichnet werden muß. Es kommt hierbei entweder der einfache Reibungswiderstand des Organismus am äußern Medium in Frage beim Fehlen eigentlicher Bewegungsorgane, oder aber ein vermehrter Widerstand an gleichartig gebauten und ringförmig angeordneten borstenartigen Fortbewegungsorganen.

Bei Würmern und Gliedertieren, zum Teil auch bei Schlangen, fällt außerdem die Möglichkeit einer Verstemmung der einzelnen versteiften Ringe gegeneinander in Betracht, welche die Entfaltung einer ganz bedeutenden Kraft von Seite des Organismus ermöglicht. So sind bekanntlich die Ameisen befähigt, mit Leichtigkeit Lasten fortzuschleppen, die ein Vielfaches ihres Körpergewichtes ausmachen.

Figur 122.
Lokomotion durch Gestaltveränderung als Funktion der Kohäsion (Elastizität), Kontaktbewegung (Festigkeit) und Adhäsion (Reibung).

Wir haben geglaubt, der Vollständigkeit halber die verschiedenen Lokomotionsmöglichkeiten des tierischen Organismus hier nochmals in Kürze streifen zu müssen, nachdem wir die Bewegungen der Rumpfspindel schon im Ersten Teil analysiert hatten. Das Gesetz der Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel, die Erkenntnis der Ballonform der Rumpfspindel und ihrer Achsen, sowie diejenige der Konstanz im Verhältnis von Formbildung und Formerhaltung werden uns nunmehr ein besseres Verständnis auf rein mechanistischer Grundlage bieten, als das noch beim Durchgehen des Ersten, analytischen Teiles möglich war.

All diese Darstellungen beziehen sich jedoch nur auf die Organismen mit ungebrochener Rumpfachse und auf Vierfüßler mit ungeschwächtem Druckbaumsystem. Hier aber inter-

essieren uns nun am meisten die Lokomotionsverhältnisse beim Menschen mit dem geknickten Achsensystem. Kommt ja doch ihm allein der Vorzug der „aufrechten Stellung und des aufrechten Ganges" zu. Er hat es dem Beckenknick zu danken gehabt.

Die Erklärungsweise aller einschlägigen Tatsachen ist nicht nur eine übereinstimmende, einheitlich mechanistische geworden — sie ist bereits auch durch zahlreiche analoge technische Konstruktionen längst nachgeahmt und anerkannt.

Es ist nun — so würde man nach bisheriger Auffassung und Sprachgebrauch etwa sagen — die weitere Aufgabe der Natur, den aufgerichteten und mit Mühe auf zwei Beinen ins Gleichgewicht gebrachten menschlichen Torso von Ort und Stelle zu bewegen — zu dislozieren, ohne daß der ganze Organismus dabei Schaden leidet (s. oben Aufgabe XIV).

Wir wollen uns dieser Ausdrucksweise inskünftig nicht mehr bedienen; denn eine Aufgabenstellung bleibt immer eine Prädestination, wobei ein gewisser Zweck verfolgt wird. **Es gibt im Naturgeschehen keinen Zweck, sondern nur ein Kausalverhältnis zwischen Ursache und Folge.** L. S. 97. Das Anpassen des Organismus in der morphologischen Ausbildung und Umgestaltung seiner Organe an die Verhältnisse der Außenwelt — mag man es als „zweckmäßig" bezeichnen oder nicht — darf nicht anders aufgefaßt werden denn als die natürliche Folge innerer und äußerer Verumständungen und der Wechselwirkung zwischen der organischen Substanz in ihrer vererbten, artsichern Konstitution und den Verhältnissen ihrer Außenwelt. Die Art und Weise, wie die evolutionistische Heranzüchtung der Plasmakonstitution, die Vererbung der Eigenschaften der Art erfolgt, ist eine zwiefache: einmal eine ontogenetisch-individuelle und sodann eine phylogenetisch-generelle. Die zeitliche Reihenfolge der Kausalmomente aber ist in beiden Entwicklungsreihen die gleiche. Sache der Kausalanalyse der Form wäre es also, immer intensiver die zeitliche Verkettung ursächlicher Faktoren zu lösen und sie auf ihren innern Zusammenhang zu prüfen. Daraus erst kann sich ein natürliches Verhältnis zwischen „Funktion und Form" ergeben, wie es namentlich bei den Untersuchungen über die „spontane", d. h. aktive Dislokation so dringend nötig ist, wenn man nicht eine Verwechslung von Ursache und Folge riskieren will, wie das in der biologischen Forschung leider so häufig noch vorkommt, wo man sich immer noch nicht recht von der alten vitalistischen Auffassung zu trennen versteht.

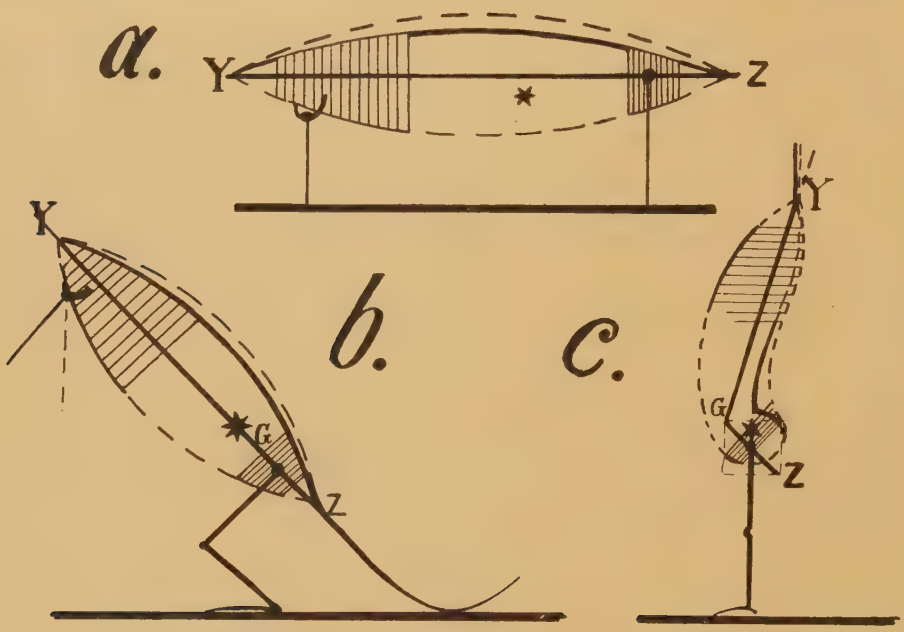
Wenn also unsere rein mechanistische Auffassung über die mechanischen Vorbedingungen und die Vorgänge in Statik und Lokomotion der menschlichen Körperform richtig sein sollen, die uns nun am meisten interessieren, so müssen sich diese Momente ebenso gut aus der phylogenetischen, wie aus der ontogenetischen Entwicklung ableiten lassen; sie müssen auch in letzter Linie auf ein und dasselbe Kausalmoment in beiden Reihen zurückzuführen sein. Und dieses Kausalmoment ist beim Menschen die Bildung des Lendenknicks, jener Schwächung und spätern Knickung des Druckbaumsystems der liegenden Rumpfspindelform des Vierfüßlers bzw. ihrer Längsachse, die sich in solcher Ausprägung einzig am Skelett des Menschen konstatieren läßt.

Bei der partiellen und auch der totalen Aufrichtung der Körperform, wie man sie bei einigen Vogelarten (Alken, Pinguinen) und bei den verschiedensten Affenarten findet, ist die Wirbelsäule ungeknickt; die Lokomotion findet also primär durch Formveränderung der Rumpfform statt, wie wir gesehen durch Annäherung an die Kugelform und temporäre Spannung des unversehrt gebliebenen Druckbaumsystems.

Die Abweichung dieses sonst allgemein gültigen Vorganges bei der Spezies „Mensch" durch den Abbiegungsprozeß der Wirbelsäule mußte so lange übersehen werden, als die Mittel fehlten zur Erkennung der Rumpfachsen. Denn nur an der Hand von solchen

läßt sich Statik und Lokomotion des Organismus studieren und konstruieren, da dieser nicht eine gleichmäßig feste Masse mit unbeweglichem Schwerpunkt darstellt, sondern einen Ballon mit ungleichmäßig beweglichem Inhalt, also verschieblichem Schwerpunkt (* Figur 123).

Versuchen wir also an drei Figuren durch einfachste Andeutung der Achsen die drei Haupttypen der Statik wiederzugeben, wobei das elastische Verkürzungsmoment, das kontraktorisch die lokomotorisch wichtige Annäherung der Form an die Kugelform herbei-



Figur 123.
Der „Ballon halbstarren Systems" und seine Statik bei der Aufrichtung
b bei ungebrochener *Primaten.* *c* bei gebrochener Achse *YZ.* *Mensch.*

führt, durch ___ Striche und die ungefähre Lage des Schwerpunktes mit einem * bezeichnet wird. Für den Menschen hat man die genauere Lage des allgemeinen Schwerpunktes aufs genaueste zu eruieren gesucht (H. MEYER, BORELLI und HORNER, JUL. SPRINGER, BRAUNE-FISCHER, W. und ED. WEBER und viele andere), um darnach die Schwergewichtslinie als eine Vertikale durch den ganzen Körper zu konstruieren („Ständertheorie").

Nachdem wir aber die menschliche Körperform ebenfalls als einen Ballon aufgefaßt und erkannt haben, daß seine Längsachse *YZ* durch den Knickungsprozeß bei *G* abgeknickt und funktionell geschwächt erscheint, hat man nicht nur für die Erklärung der statischen, sondern ebenso sehr der funktionell lokomotorischen Vorgänge sehr viel gewonnen. Es ist dabei nachzutragen, daß wir auf vollkommen andern Wegen, was die Lagebestimmung des Gesamtschwerpunktes anbetrifft, ungefähr zu demselben Resultat gelangt sind wie BRAUNE-FISCHER, daß wir aber unsere analytischen Methoden höher bewerten müssen, da sie nicht nur weit sicherere und bestimmtere Werte liefern, sondern auch im Einklang ge-

bracht werden können mit den Untersuchungen auf entwicklungsmechanischem und genealogischem Gebiet. Nach unsern Ergebnissen ist die Lage des Gesamtschwerpunktes der ganzen Körperform des Menschen zu identifizieren mit derjenigen des mechanodynamischen Beckenringzentrums *M*, des Schwergewichtspunktes des formbildenden Dreieckes auf der Γ_1 Ebene. Er liegt beim Manne zirka 2,8 cm senkrecht über der Mitte der statischen Drehachse PP', beim Weibe in etwas geringerem Abstand (1,7 cm) unterhalb der nach vorne verlagerten Querachse, der Balancierachse $\Pi\Pi'$.

Mit der Lagerung des Gesamtschwerpunktes und ihrer Korrelation zur Drehachse sind die Grundbedingungen für Statik und Lokomotion gegeben: Beim Manne haben wir labiles, beim Weibe stabiles Gleichgewicht der statischen Momente. Die Statik des menschlichen Beckenringes ist somit auch für die Statik der ganzen Rumpf- und Körperform maßgebend — begreiflicherweise! Denn die Achse des Beckenringes *GZ* bildet ja einen Teil der gebrochenen Rumpfachse *YZ*; sie geht durch die quere Drehachse des Körpers hindurch und steht, was ihre Länge anbetrifft, zur übrigen Rumpfachse in dem bestimmten Verhältnis von 1 : 2 beim Manne wie beim Weibe. Der *„Knickungswinkel" YGZ,* den die beiden gebrochenen Achsenstücke zueinander bilden, beträgt beim aufrechten Stehen bei beiden Geschlechtern 105°, nämlich:

$$\textit{beim Manne:}\quad 180^\circ - 2\cdot 45^\circ + 15^\circ = 105^\circ,$$
$$\textit{beim Weibe:}\quad 180^\circ - 2\,(30^\circ + 22\tfrac{1}{2}^\circ) = 105^\circ.$$

Die — wie mir scheint — nunmehr bewiesene Behauptung, daß bei den Quadrupeden die Lokomotion im wesentlichen durch die einfache Annäherung der Rumpfform an die Kugelform mittelst Kontraktion des Sakrospinalsystems des Druckbaumes erfolgt, läßt nun die weitere Vermutung aufkommen, daß auch beim Menschen die Lokomotion auf eben denselben Akt zurückzuführen sei, obgleich hier das Druckbaumsystem durch den intrauterin entstandenen Lendenknick selber geknickt und deformiert worden ist. Ist es möglich und wahrscheinlich, daß auch hier der kontraktorische Akt des geschädigten Druckbaumes primär und naturgemäß zur lokomotorischen Bewegung des ganzen Körpers führt, — führen muß? — Diese Frage kann schon vom rein mechanistischen Standpunkte aus mit einem entschiedenen: „Ja!" beantwortet werden.

Jeder Körper mit beweglichem Schwerpunkt kommt sofort aus der stabilen oder labilen Gleichgewichtslage heraus, sobald dieser Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist. Er kommt ins Rollen, Gleiten, kurz — in Bewegung, und verharrt in dieser Bewegung so lange, bis er wieder ins Gleichgewicht kommt, das heißt sein Schwerpunkt wieder unterstützt oder aufgehängt erscheint. Von diesem Gesetz wird auch der menschliche Körper keine Ausnahme machen. Alle andern Erklärungsversuche erscheinen geschraubt und auf den ersten Blick eben so unhaltbar, wie das Gehen für den Menschen selber zur Unmöglichkeit wird, solange er sich „im Kreuz versteift", d. h. solange sein Sakrospinalsystem nicht in Aktion tritt*).

Der mechanische Effekt seiner kontraktorischen Tätigkeit kann nun ein zweifacher sein, je nachdem diese sich mehr am Beckenring oder aber am Achsensystem selber geltend macht. Das aber hängt davon ab, ob der Knickwinkel der Achsenstücke mehr oder weniger veränderlich aufzufassen ist; denn der Beckenring als solcher muß in seiner Form für den Gehakt als unveränderlich angesehen werden. Er ist daher in Figur 124a und b durch das statische Quadrat (s. Fig. 114 und 115) ersetzt, in welchem die Lage des Drehpunktes mit einem ○ oder +, diejenige des Gesamtschwerpunktes (mechanistisches Zentrum *M* bzw. *Φ*)

*) H. STRASSER, Disc. Schuls 1916.

mit einem * bezeichnet ist. Unter allen Umständen aber ist das Viereck um seine ideelle Drehachse leicht drehbar in der Weise, daß die im Stehen horizontal liegende Sakrospinalebene (*GK*), durch Zug am Sakralpunkt *K* nach oben aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht wird. Damit kommt zugleich auch der Schwerpunkt und das ganze System selber ins Wanken, das ja auf so wunderbar einfache und doch äußerst feinfühlige Konstruktion statisch eingestellt ist. Der ganze Organismus droht nach derjenigen Richtung zu kippen, nach der sich der Gesamtschwerpunkt verschiebt (Fig. 114 und 115, L.S. 80 und Exp. XIII).

Durch die Kontraktion des Sakrospinalsystems ist nun aber im fernern auch die direkte Distanz *YK* verkleinert, d. h. der Fixpunkt *K* dem Punkt *Y* genähert worden. Mit andern Worten: Der Knickwinkel *YGZ* wird verkleinert. Die Rumpfachse *GY* kommt über dem besser fixierten Beckenring in schwankende Pendelbewegung, während der Ring bestrebt ist, sofort wieder in die alte Lage zurückzukehren.

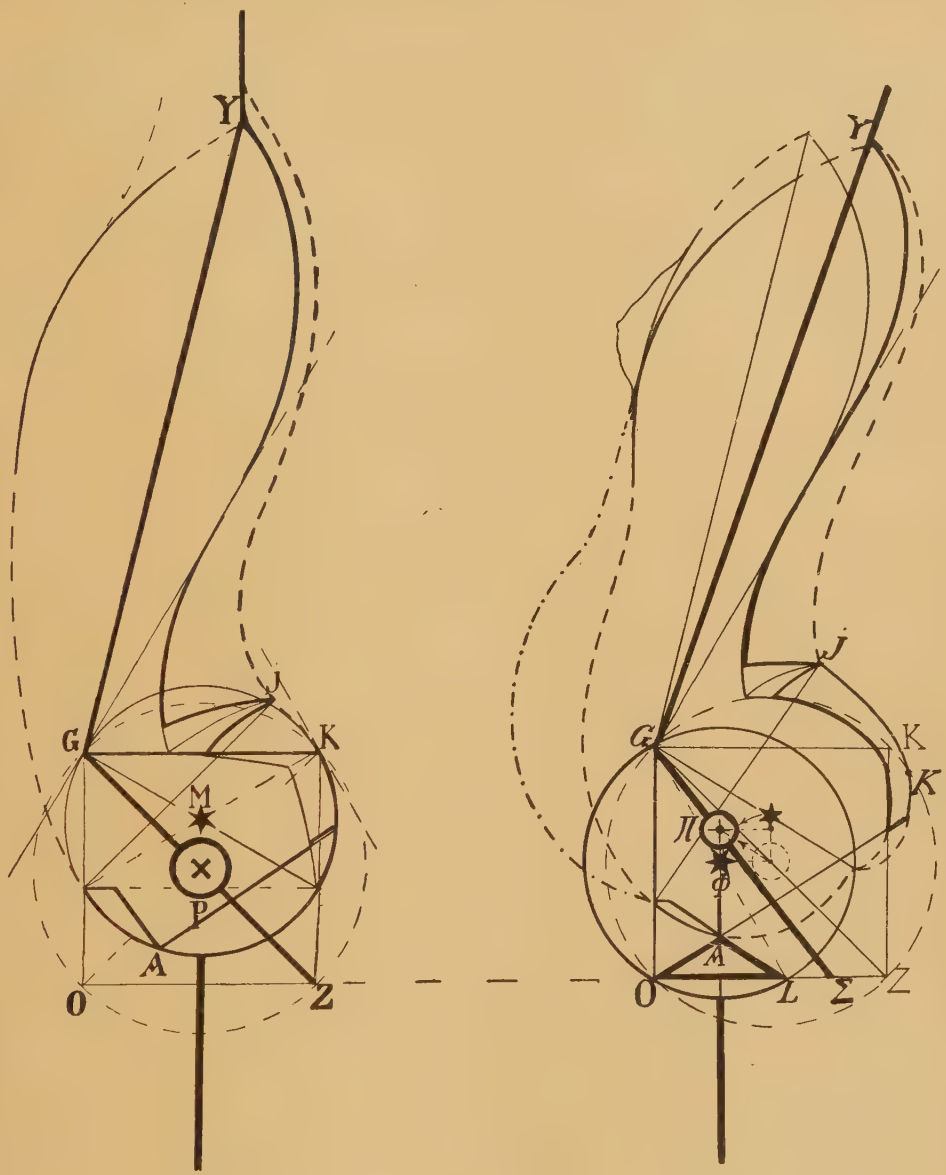
Etwas komplizierter gestaltet sich der Vorgang freilich bei der stabilen Gleichgewichtslage des Weibes, da hier der Mechanismus des Beckenendes und seine Statik sich weit komplexer gestaltet haben und durch eine Summe zusammenwirkender mechanischer Faktoren bedingt erscheint. Vor allem ist darauf Bedacht zu nehmen, daß hier die beiden Beckenbodenebenen beim aufrechten Stehen des Individuums gleiche Neigung zur Horizontalen haben (gleichschenkliges Basisdreieck *OLA* Fig. 124). Auch die Schenkelstellung zum weiblichen Beckenring, wie „die stärkere Einziehung der Kreuzgegend" beim Weibe, sowie der vom männlichen Typus abweichende Hemmungsapparat (s. I. Teil, Fig. 102 a, b) sind dabei wohl zu berücksichtigen. Die Klarstellung dieses komplizierten mechanisch-statischen Systems beim Weibe bietet aber eine solche Menge von Konstruktionsaufgaben, daß sie alle zu lösen hier zu weit führen würde. Im Grunde genommen ist der Vorgang derselbe wie beim einfacher gebauten männlichen Typus. Er läßt sich in die vier Sätze zusammenfassen:

1. Auch die Lokomotion des menschlichen Körpers beruht primär auf einer Gestaltsveränderung der Rumpfform, wodurch eine Verlagerung des Gesamtschwerpunktes und eine Störung der statischen Gleichgewichtslage entsteht (L.S. 88).

2. Diese Gestaltsveränderung geschieht theoretisch und praktisch in analoger Weise wie bei der einzelligen Amöbe durch Annäherung der Form an die Kugelform und vollzieht sich beim ungebrochenen Druckbaumsystem des Quadrupeden wie beim gebrochenen System des Menschen durch einfache Spannung des Druckbaumes (kontraktorische Verkürzung des Sakrospinalsystems).

3. Die Abweichung in der Funktion ist beim Menschen allein bedingt durch das onto-wie phylogenetisch erklärbare Zustandekommen des Lendenknickes und die daraus resultierende Aufrichtung der Rumpfform mit geknickter Achse (Schlagbaummechanismus, L.S. 87).

4. Die lokomotorische Bewegung des menschlichen Körpers beruht somit primär auf einer horizontalen Verschiebung des Beckenringes und seiner statischen Querachse (Drehachse des Rumpfes) wie durch Pendelbewegung der darüber befestigten Rumpfachse und dadurch bedingte Verschiebung des Gesamtschwerpunktes des Systems. Sie ist vergleichbar mit der Bewegung des einachsigen Zweirades, wobei die sekundäre, abwechselnd-schreitende Stellung des Standbeines der jeweils senkrecht stehenden Radspeiche entspricht. Das Rad selber wird durch die Gewichtsverlagerung des Ganzen in Bewegung gesetzt (s. Fig. 119).



männlich *weiblich (—·—·—Schwangerschaftskontur)*

Figur 124.

Statik und Balancement des menschlichen Torso mit gebrochener Rumpfachse; YZ bzw. $Y\Sigma$ bei G gebrochen. Die Lokomotion erfolgt durch Verlagerung des Schwerpunktes M bzw. Φ infolge Verkleinerung des Knickwinkels YGZ ($YG\Sigma$) mittelst Kontraktion des Lumbo-sacralsystems YJK. — Horizontalschub des Beckenringes in der P-, bzw. Π-Achse und Balancement der Rumpfachse GY.

9. Notwendige Übereinstimmung in der Folge der Kausalmomente der Formentwicklung in Ontogenese und Phylogenese.

Das Beweismaterial, dessen wir zur Ergründung des Konstruktionsprinzipes der menschlichen Form benötigten, mußte zum größten Teil als der Ontogenie angehörend bezeichnet werden. Ohne Zweifel wenigstens sind es die Streiflichter, die wir über die intrauterinen Entwicklungsphasen der Beckenform haben gleiten lassen. Aber auch die zweite (und dritte, sexuelle) Formierung des menschlichen Beckens scheinen zunächst als individuelle Gestaltbildung mit der Stammentwicklung der Art nichts oder doch sehr wenig zu tun zu haben.

Auf zwei Punkte ist indes oben schon mehrfach hingewiesen worden: einmal darauf, daß die Ontogenese des Individuums mit seiner Geburt nicht als abgeschlossen erscheint: denn die Formveränderungen gehen in gleicher Weise am Beckenring extra- wie intrauterin vor sich, wenn auch vielleicht ihre Ursachen völlig andere geworden sein sollten.

Sodann darauf, daß auch das spezifische Artprotoplasma infolge seines funktionellen Anpassungsvermögens in Form und Beschaffenheit so lange einen zeitlich begrenzten Entwicklungsabschluß nicht findet, als noch Individuen derselben Art existieren und überhaupt die äußeren Existenzbedingungen eine Weiterentwicklung der Art ermöglichen.

L. S. 98. **In Bezugnahme auf ein einzelnes Individuum gelangt also weder seine Ontogenese noch seine Phylogenese mit seinem Geborenwerden zum Abschluß.**

Aber auch umgekehrt wäre es gänzlich verfehlt, wollte man etwa den Anfangspunkt der ontogenetischen Entwicklung mit dem Zeitpunkt der stattgefundenen Befruchtung identifizieren. Auch im unbefruchteten Ei, gleich wie in der Samenzelle, ist ja die „Valenz" des Artprotoplasma bereits vorhanden, und als Teilzellen des elterlichen Organismus kommt ihnen bereits die Befähigung zu, unter gegebenen Voraussetzungen zum Artindividuum auszuwachsen. Die chemisch-physikalische Konstitution dieser Samenzellen gehört also gewissermaßen ebenfalls mit zur Ontogenese des Individuums; ohne sie ist weder die Befruchtung noch die Weiterentwicklung des Eies auch unter sonst günstigen „äußeren" Verhältnissen denkbar. Wenn also die Gesamtsumme der Artvalenz bereits im Protoplasma der unbefruchteten Keimzelle niedergelegt ist, bevor die Kopulation erfolgt, so ist der Anfang der ontogenetischen Laufbahn vor diesen Zeitpunkt zurückzuverlegen. Das Art-*P* ist eben durch den ganzen Stammbaum der Art hindurch, also phylogenetisch herangezüchtet, bis es die Gesamtvalenz der Art und alle seine Potenzen erlangt hat. Sie liegen in der physikalisch-chemischen Struktur wie der prozentualen Verteilung und qualitativen Beschaffenheit der drei Hauptbestandteile des Protoplasmas fest begründet (L. S. 63).

Das ontogenetische Grundgesetz O. HERTWIGs scheint damit unanfechtbar zu Recht zu bestehen, denn man sollte glauben, daß wirklich alle Charaktereigentümlichkeiten der Art in der Zelle vererbt wären.

Wir sind aber durch unsere Untersuchungen der Form und ihre Entstehung beim menschlichen Embryo genötigt worden, diesem Gesetz eine gewisse Reserve aufzuerlegen, indem wir neben der chemischen Konstitution auch der Dynamik zu ihrem Rechte verhalfen.

Da nämlich sämtliche Erscheinungen, die wir an der menschlichen Körperform als charakteristische Merkmale bezeichnen, Hemmungserscheinungen sind, die sich mehr nur in der einen Wachstumsrichtung der Frucht vollziehen, nämlich in der Richtung ihrer Längsachse, so lag es in unserer Aufgabe, den Ursachen dieser einseitigen Entwicklungshemmung näher nachzuforschen. Die erste Aufgabe war zunächst die, den Zeitpunkt festzustellen, in welchem sich die spezifische Artentwicklung des Menschen deutlich auszu-

prägen beginnt. Da aber die intrauterine Entwicklung bei der menschlichen Spezies im Vergleich mit andern Spezies längere Termine beansprucht, so müssen die verschiedenen Entwicklungsstadien der verschiedenartigen und verschiedenaltrigen Früchte sorgfältig auf den Grad ihrer morphologischen Differenzierung geprüft und verglichen werden.

Als eines der wichtigsten Phänomene, das bei allen anderen Spezies fehlt, habe ich bei der menschlichen Frucht den Lendenknick ihrer Wirbelsäule bezeichnet. Seine Entstehung fällt in die zweite Hälfte des zweiten Monats. Zu eben dieser Zeit machen sich auch am vordern Körperteil des Fötus bereits spezifische Arterscheinungen bemerkbar: Die von W. HIS als Längsfältelung bezeichneten Formbildungen des Gehirns.

Man wird also kaum fehlgehen, wenn man behauptet, daß sich die wichtigsten Artdifferenzierungen an der Frucht der Spezies homo vollziehen in einer Zeit, die dem Entwicklungsstadium desselben zwischen der sechsten und achten Woche entspricht. Bis zu dieser Entwicklungsphase sind wohl kleinere Unterschiede unter den Früchten verschiedener Arten vorhanden, aber sie sind mikroskopisch unter sich und im Vergleich mit der menschlichen Frucht gering. Und was sich nach diesem Termin und nach erfolgter charachteristischer Differenzierung an der menschlichen Frucht vollzieht, das kann man auch als Folge der bereits bestehenden Formdifferenzierung erklären.

So sind wir genötigt zu sagen:

Im zweiten Intrauterinmonat treten an der menschlichen Frucht jene Erscheinungen zutage, welche das Wachstum derselben in spezifisch anthropogenetische Bahnen lenken. L. S. 99.

Ist die Anlage oder die Ursache hierzu in der menschlichen Eizelle bereits vorhanden gewesen? —

Nach dem onthogenetischen Grundgesetz müßte man die Frage bejahen, indem man annähme, daß auch die Spezies homo ebensogut wie jede andere Spezies ihre Artvalenz im Protoplasma der Keimzelle vererbt.

Eines aber mußte uns doch nachdenklich machen, jener Schluß nämlich, daß alle Artmerkmale beim Menschen Hemmungsbildungen sind, Entwicklungshemmungen nach einer speziellen Raumrichtung der Fruchtentwicklung hin gerichtet.

Und da all diese anthropomorphen Erscheinungen: die Verkürzung des Gesichtsteils am Kopfe, die Faltenbildung des Gehirns, Leistkugelformierung in der Bauchhöhle, Lendenknickbildung und Verkürzung des Beckenendes allen Abschnitten der Frucht angehören, so muß daraus geschlossen werden, daß die Ursachen für all diese mechanischen Vorkommnisse einheitlicher Natur sind, zumal, da ihr Auftreten auf der ganzen Längslinie der menschlichen Frucht zeitlich ein einheitliches ist.

Der Gedanke ist daher nicht mehr von der Hand zu weisen: es müssen im zweiten Monat der menschlichen Frucht einheitliche Kräfte hemmend auf ihre Längsentwicklung einwirken. Und da diese Einwirkung von allen Teilen der Längsachse inklusiv Kopf auftritt, so können die Ursachen im Sinne der Frucht nur „äußere" sein.

Damit erleidet das „ontogenetische Grundgesetz" HERTWIG's einen schweren Stoß. Denn wenn auch zugegeben werden muß, daß die ganze Artstruktur des Protoplasma in der Eizelle vererbt wird, so darf auf der andern Seite nicht mehr geleugnet werden, daß diese Eizelle in ihrer spätern Entwicklung von äußeren Umständen wesentlich beeinflußt, von äußern Kräften geformt wird. Diese Kräfte aber gehen direkt vom mütterlichen Organismus aus und sind die Folge einer phylogenetischen Formveränderung, welche die schwangere Gebärmutter beim menschlichen Weibe annimmt, die sich schon im nichtschwangeren Zustande wesentlich von der bicornen Form der Primaten unterscheidet, eine

Erscheinung, die füglich ebenfalls auch als anthropomorphe bezeichnet und wie alle andern als Folge des genannten verminderten Längenwachstums angesehen werden muß.

In den ersten Wochen nach der Befruchtung findet nun das eingebettete Ei noch freien Raum genug zu seiner Ausdehnung im Cavum uteri. Die äußeren Druckverhältnisse des Eies mögen sich daher noch wenig von demjenigen im uni- und bicornen Eibehälter bei anderen Arten unterscheiden. Am Ende des zweiten Monats jedoch erhält nun die menschliche Frucht einen relativ höheren Druck auf die Längsachse; denn der menschliche Uterus ist mit seiner Vergrößerung kugelig geworden und bewirkt so ein Zusammengestoßenwerden der menschlichen Frucht in deren Längsachse. Als direkte Folge dieses relativ vermehrten Längsdruckes erkennen wir alle anthropomorphen Erscheinungen ohne jede Ausnahme.

Die oben berührte Vexierfrage der Wissenschaft: „War zuerst die Henne, oder war zuerst das Ei?" wird also auch heute durch unsere Untersuchungen nicht gelöst. Doch einen großen Fortschritt haben wir dabei zu verzeichnen gehabt: die Erkenntnis der Bedeutung der uterinen Mechanik für die Formbildung der werdenden Frucht.

Wie sehr aber Ontogenie und Phylogenie ineinandergreifen, wie ein Kausalmoment, das in der einen Entwicklungsreihe auftritt, notwendig auch in der anderen Reihe in gleicher Weise zur Geltung kommt, geht aus den kausalanalytischen Studien der Beckenform des Menschen hervor. Außer der spezifisch veränderten Uterusform der Mutter sind oben als weitere Kausalmomente für die ontogenetische spezifisch anthropomorphe Formentwicklung der menschlichen Frucht fernerhin genannt worden: Bildung der Leistkugel, Entstehung des Lendenknicks, Verkrümmung und Deformierung des Beckenrohres, Verkürzung des Kaudalteiles, Senkung der Urinblase usw. usw. Sie alle stehen in einem gewissen Kausalitätsverhältnis zueinander in der Weise, daß das eine Moment Folge des andern und zugleich wieder Ursache eines dritten Momentes wird. In logischer Aufeinanderfolge reiht sich somit in der Entwicklung zeitlich ein Kausalmoment an das andere. Die zeitliche Aufeinanderfolge derselben deckt sich auch mit der logischen Verkettung der einzelnen ursächlichen Faktoren.

Nun genügt es freilich nicht, diese Kette von Formveränderungen einzig ontogenetisch zu verfolgen, ohne dabei jeweils auch einen Seitenblick in die vergleichende Anatomie und Phylogenese zu tun.

Die Phylogenese des Menschen ist, so sagten wir eben, unter Bezugnahme auf ein einzelnes Individuum selbstredend bei der Geburt dieses Individuums noch viel weniger abgeschlossen, als es seine Ontogenese in diesem Zeitpunkte ist. Beide machen sich daher an ihm weiter geltend, die letztere, individuelle, bis zu seinem Tode, die erstere, generelle wenigstens bis zur Erlangung aller Art-Merkmale, oder noch besser gesagt, bis zum Gipfelpunkt seiner vitalen Lebenskurve. Dazu gehört beim Menschen aber unstreitig, abgesehen von der hohen geistigen Funktion, die Erlangung der aufrechten Körperhaltung und aller damit in Zusammenhang stehenden Formveränderungen: Aufrichtung der Wirbelsäule, Abrundung der Beckenendform, Ausweitung des Beckenringes (II. und III. Formierung).

L.S.100. **Der ganze Zeitraum eines Individuums von seiner Geburt bis zur vollendeten Reife gehört somit beiden Entwicklungskurven an, der phylogenetischen sowohl wie der ontogenetischen.** Die morphologischen Formveränderungen, die in diesem Zeitabschnitt entstehen, sind also nach beiden Seiten hin kausal zu erklären, und es bleibt dabei immer noch fraglich, ob wir ein und dasselbe Kausalmoment stammesgeschichtlich ebensogut akzeptieren können, das ontogenetisch vielleicht durchaus annehmbar ist. Ja noch mehr: Gelingt es in der Studie der Eientwicklung eine Anzahl ursächlicher Momente zu einer logischen Kette aneinanderzufügen, so ist es nicht zu viel verlangt, wenn

wir fordern, daß wir dieselbe Kette mit der nämlichen Reihenfolge ihrer Glieder auch in der Stammesentwicklung bilden können. Die Heranzüchtung von Art und von spezifischem Artprotoplasma durch Austausch von Energien mit der Außenwelt und durch „funktionelle Anpassung" an dieselbe sind wohl an die nämlichen Vorgänge und Gesetze gebunden, wobei „Rückschläge" nicht etwa ausgeschlossen zu sein brauchen. Ja im Grunde genommen sind beide: Entwicklung von Art-*P* und Art ein und dasselbe. Beide können nur in einer bestimmten Verkettung äußerer Kausalmomente entstehen — entstanden sein.

Es muß sich nämlich eine einmal in einer Substanz inhaftierte Eigenschaft, die so zum Artmerkmal und somit wieder zum Ausgangspunkt weiterer morphogenetischer Veränderungen wird, stetsfort in der Eigengeschichte des Individuums dieser Art widerspiegeln. Eine Umtauschung der einzelnen Kausalmomente in der Kettenfolge der einen Entwicklungsreihe scheint mir gleichwie bei der andern von vornherein undenkbar und ausgeschlossen zu sein.

Faßt man hier speziell nur die Anthropogenese ins Auge, so frägt es sich also zum ersten, ob sich dasjenige Kausalmoment, das wir in der Ontogenie des Menschen als ursächlich für die Entstehung der hauptsächlichsten Charaktereigentümlichkeiten des Artindividuums bezeichnet hatten, ob dieses Kausalmoment sich auch in der Phylogenese wiederfindet. Wir bedürfen nämlich eines Drehpunktes, um den sich die Menschwerdung vollzieht.

Von diesem gemeinsamen Fixpunkte beider Entwicklungsreihen aus lassen sich dann auch die einzelnen Kausalmomente in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge fixieren und zum Vergleich auf beide Kurven auftragen.

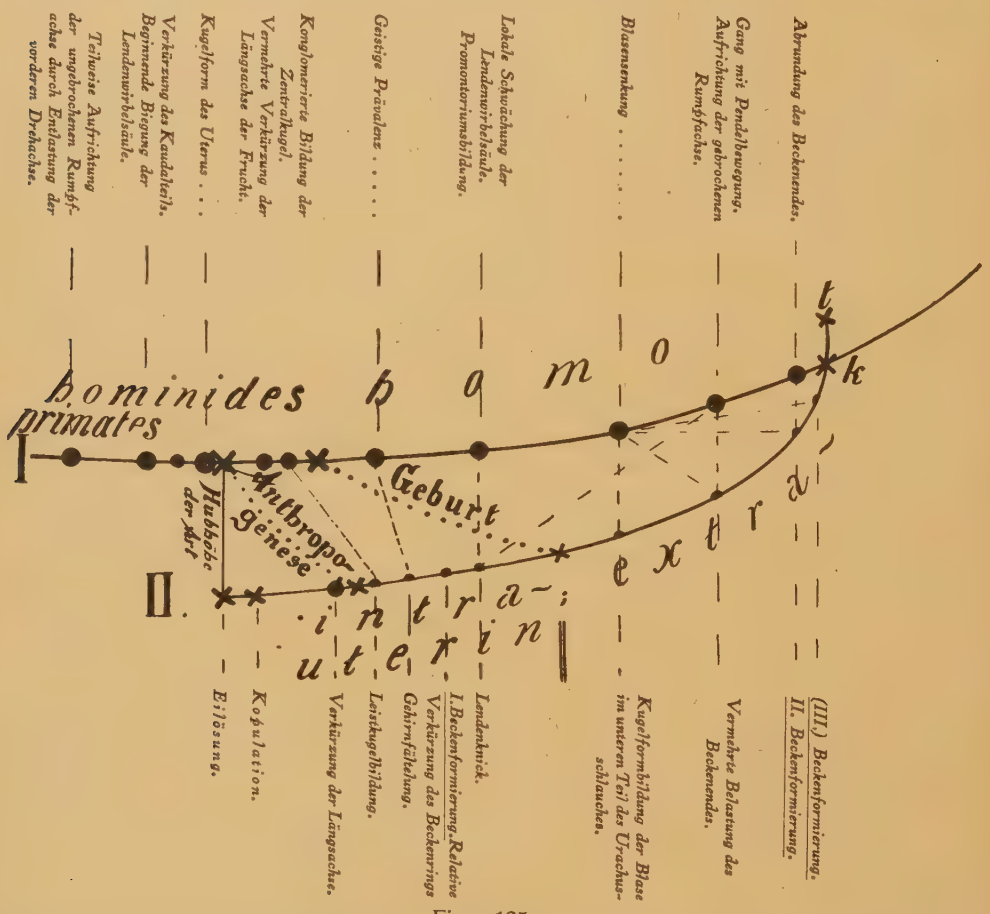
Der Punkt in der Kurvenlinie der phylogenetischen Entwicklung (Kurve I, Fig. 125) der Organismen, auf den sich die Menschwerdung stützt, scheint mir nun da zu liegen, wo die Spindelfom und Bicornität des Fruchthalters der Primaten beginnt sich zu verkürzen und im schwangeren Zustande in die ausgesprochene Kugelform überzugehen.

Die unmittelbaren und mittelbaren Folgen dieser morphologischen Veränderungen kennen wir jetzt zur Genüge, und so tragen wir auf der gestreckten phylogenetischen Kurve I der Reihe nach all jene Erscheinungen auf, die sich als Teil- und Folgeerscheinungen der verkürzten Längsachse der Frucht konstatieren lassen und die alle auf den veränderten Druck im kugelig gewordenen Eigehäuse zurückzuführen sind.

Als Anfangspunkt der ontogenetischen Kurve II ist der Zeitpunkt der Eilösung zu betrachten. Er ist um so weiter von der phylogenetischen Kurve I abgerückt, je größer die Differenz in der Gesamtbewertung des neuen Art-*P* gegenüber derjenigen der vorherrschenden Art anzuschlagen ist (Hubhöhe der Art). Dieses durch die Summe der chemisch-physikalischen Eigenschaften und Fähigkeiten in seiner Gesamtvalenz bestimmte Art-*P* der Eizelle wird nun vom Zeitmoment der Befruchtung ab weiter entwickelt. Das geschieht zuerst noch intrauterin im chemisch-mechanischen Austausch mit dem mütterlichen Organismus, nach der Ausstoßung der Frucht aber extrauterin durch Aufnahme und osmotische Assimilation von Partikeln der Außenwelt.

Was dann im weitern den rein mechanischen und mechanostatischen Ausgleich der plasmatischen Teilsubstanz *p* des Protoplasmas der menschlichen Frucht mit den Druckverhältnissen der mütterlichen Fruchtkammer und nach erfolgter Geburt mit den als Nahrung aufgenommenen Contenta anbetrifft, welche Teilsubstanz *p* für diese mechanisch formativen Vorgänge als erste Kontrahentin jetzt ausschließlich in Betracht kommt, so ergeben sich nun in zeitlich bestimmter Aufeinanderfolge eine Anzahl sicher zu charakterisierender Beziehungen zwischen dem Plasma (*p*) und seiner innern und äußern Außenwelt.

Der Ausgleich erfolgt stets nach dem Relativitätsprinzip, wobei jedoch die Korrelationen nach den verschiedensten physikalischen Eigenschaften und Beziehungen, wie Härte, Widerstand, Elastizität, Plastizität und Beweglichkeit, Längen- und Flächenausdehnung usw. in buntestem Wechsel aufeinanderfolgen.



Figur 125.

Übereinstimmung in der Reihenfolge der mechan. Funktion in der ontogenetischen und phylogenetischen Kurve des Menschen.

I. Stammeskurve, Phylogenese. II. Kurve des Individuums, Ontogenese.
k Kulminationspunkt des individuellen Könnens. *t* Tod des Individuums.

Es machen sich nun im Laufe der Entwicklung eines Individuums — und ich betone ausdrücklich: seiner extrauterinen wie seiner intrauterinen — an seinem Plasma inhaftierte mechanische Eindrücke geltend, Formveränderungen, aus denen wir Schlüsse gezogen haben über den stattgefundenen dynamischen Wettstreit der Körpersubstanz samt ihrer gebildeten maschinellen Anlage mit der Energie des aufgenommenen toten Materials. Mehrere solcher Formbildungen können auf ein und dasselbe ursächliche Moment zurückgeführt werden; aber jede einzelne derselben, obgleich sie in diesem Falle alle in rein morphologischer Hinsicht unter sich koordiniert sind, kann genetisch wieder zum Ausgangspunkt neuer

Formerscheinungen werden. Alle diese errungenen „Instanzen" der Form erscheinen in bestimmter zeitlicher Folge auf der Kurve II (Fig. 125).

Diese ontogenetische Kurve II ist somit die Kurve der Formbildung auch für den extrauterinen Teil des Lebens bis zum Tode des Individuums. Sie stellt die Entwicklungsgeschichte dar eines individuell umgrenzten, in seiner Valenz und Konstitution durch Vererbung gesicherten Partikelchens Art-*P* und bildet so das somatologische curriculum vitae des Individuums. Von der Eizelle bis zum Absterben der Person hält sie alle dynamischen Errungenschaften und Instanzen der Reihe nach morphogenetisch fest.

Die Formbildung steht bis zur Geburt des Individuums noch direkt unter dem mütterlichen Einfluß; sie ist auch späterhin noch indirekt abhängig von der ererbten Anlage. Die Kurve I hinwiederum ist die bildliche Darstellung der Stammesentwicklung der ganzen Art, in Figur 125 jedoch nur des Endteiles der anthropogenetischen Kurve; denn für unsere Zwecke ist es an dieser Stelle ausreichend, die Kurve erst von der vorletzten Position an zu zeichnen, die vor den Beginn der Anthropogenese fällt.

Wenn wirklich die hervorragendsten Artmerkmale des Menschen auf einer relativen Verkürzung der Längsachse der Frucht beruhen und auf veränderte Druckverhältnisse zurückzuführen sind, die nach unserer gemachten Annahme durch eine Formveränderung des schwangeren Uterus entstehen, so dürfen wir wohl mit Fug und Recht diese Veränderung des Fruchthalters als jenen Fixpunkt auf der phylogenetischen Kurve bezeichnen, um den sich der Akt der Anthropogenese vollzieht.

Die erste Frucht, die einst unter den neugeschaffenen Druckverhältnissen eines in der Schwangerschaft kugelig geformten Uterus zur Entwicklung kam, ist „Mensch geworden" im weitgehendsten Sinne des Wortes, wenn sie auch noch nicht sämtliche anthropogenetischen Artmerkmale im Protoplasma ihrer Keimzelle ererbt haben sollte. Freilich hat sich offenbar auch die morphologische Umgestaltung des mütterlichen Fruchthalters nicht mit einem Male, sondern höchstwahrscheinlich sehr langsam und allmählich vollzogen, und diesbezügliche Untersuchungen bei den Primaten und soweit möglich auch an den Hominidenskeletten wären heute von höchstem anthropologischem Wert und Interesse. Irgendeine beliebige Position auf der Kurve der Stammesentwicklung muß man indes als Ausgangspunkt für die eigentliche Anthropogenese bezeichnen, gleichgültig ob diese oder jene. Nur muß damit zugleich auch der Anfangspunkt der individuellen ontogenetischen Kurve in Einklang gebracht werden. Die „Hubhöhe der Art" wird dadurch jedesmal eine andere werden, wechselnd mit jeder Position.

Die Art besteht aus einer großen Anzahl von Einzelorganismen, Individuen, die alle im Großen und Ganzen dieselben Artmerkmale tragen, sich daneben aber individuell entwickeln, jedes nach seinen besondern Verumständungen. Jedes Individuum trägt so die Möglichkeit in sich, geistig wie körperlich sich zu vervollkommnen, den Gesamtwert seines Protoplasmas durch systematische Übungen und Angewöhnung zu erhöhen und auf seine Nachkommen und damit auf die Art zu verpflanzen. **Es liegt daher geradezu in der ethischen Aufgabe eines jeden Organismus, die ererbten Artanlagen nach allen Seiten hin zu verbessern, nicht nur zu seinem eigenen Vorteil, sondern auch zum Vorteil der ganzen Art.** L.S. 101.

In seiner ontogenetischen Entwicklung im weitesten Sinne erreicht das Individuum irgendwo den Kulminationspunkt; von da ab erlahmen seine physischen und psychischen Kräfte bis zum Tod. So trägt jedes Individuum sein Scherflein bei zur Fortbildung und Vervollkommnung der Art. Doch kann es auch in diesem letzten Abschnitt seines Lebens immer noch der Art nutzbringend und fördernd sein. Es ist daher nicht immer der Kulminationspunkt *k* des individuellen Daseins, wie dies in Figur 125 dargestellt ist, der

den Schnittpunkt der ontogenetischen mit der phylogenetischen Kurve bildet, — es kann auch der Endpunkt der ersteren sein. Während die ontogenetische Kurve unbedingt mit dem Tode des Individuums abschließt, entwickelt sich die phylogenetische Kurve dadurch weiter, daß sich der Kulminationspunkt dieser Kurve I durch die stetig fortschreitende Vervollkommung in der Organisation seiner Individuen immer mehr vorwärts schiebt und dies so lange, bis die Ausbildung in der allgemeinen Charaktereigentümlichkeit zum Entstehen einer neuen Varietät oder Spezies führt.

Wenn nun aber der neugeborene Mensch zur Zeit seiner Geburt noch nicht in den Vollbesitz aller jener Charaktereigenschaften und Artmerkmale gelangt, die wir unter den Artbegriff „Mensch" subsumieren müssen, so ist dennoch seine spätere Lebensdauer von der Geburt ab bis zur Erlangung dieser Charaktereigenschaften — sagen wir: bis zum Kulminationspunkt seiner ontogenetischen Kurve auf beiden Entwicklungskurven zeitlich begrenzt. Es frägt sich dabei nur noch, wo wir den Zeitpunkt „Geburt" auch auf der Stammeskurve zu fixieren haben. — Indem wir die letztere (I) als langgestreckte Kurvenlinie zur Abszisse nehmen für die weit mehr gebogene ontogenetische Linie (II), so loten wir die gesicherten Kausalmomente („Instanzen") der letzteren auf diese Abszisse. So erhält man auch in den Fußpunkten dieser Lote eine Reihe von Kausalpositionen. Sie stellen jedoch selbstverständlich nicht mehr die Kausalmomente der individuellen Eientwicklung dar, die mehr oder weniger auf nebensächlichen und untergeordneten Ursachen — um nicht zu sagen: individuellen Zufälligkeiten beruhen können. Auf der gestreckten Kurve der Art-Konstanz sind sie durch das häufige Zusammentreffen gleicher individueller Kausalmomente um ein und denselben Fußpunkt herum bereits allmählich zur ausgesprochenen Charaktereigentümlichkeit („Position") der Art geworden; sie sind der Gesamtzahl der Individuen dieser Art gemein. Diese Positionspunkte auf Kurve I sind durch —•—•—•— dargestellt. Sie versinnbildlichen die Summe der durch funktionelle Anpassung der Form erworbenen, auf Kurve II durch ▬▬▬ dargestellten, individuell inhaftierten Instanzen, die nunmehr generell gefestigt worden im Kampfe der Art mit den äußeren Verhältnissen, in denen diese
L.S.102. zu leben pflegt. Mit einem Wort: **Die individuell erworbenen Instanzen sind mit der Zeit zu konstanten, für die Art charakteristischen Merkmalen, Positionen, geworden.**

Ich möchte daher zur Bezeichnung aller durch funktionelle Anpassung in der Form gefestigten und so konstant gewordenen Merkmale der Art den Ausdruck „Position" vorschlagen zum Unterschied der noch immer variableren und — weil wenig befestigt — immer noch atavistischen Rückschlägen zugänglichen instanzlichen Merkmalen der individuellen ontogenetischen Kurve. Die ontogenetische Kurve entspricht damit in gewissem Sinne der bildlichen Darstellung der individuellen „Formbildung", die phylogenetische derjenigen der generellen „Formerhaltung" der Art auch
L.S.103. im Sprachgebrauch VERWORNs. **Die schwankende individuelle Instanz wird erst durch die generelle Verallgemeinerung zur gefestigten Position.**

Da nun auch die gefestigten Positionen zeitlich nicht alle zugleich auf der Kurve I erscheinen, der Zeitpunkt des Auftretens ihrer entsprechenden Instanz jedoch aus Kurve II ersichtlich ist, so lassen sich jetzt auch die Positionen und ihre zeitliche Aufeinanderfolge aus der Zeitfoge der an den einzelnen Individuen wahrgenommenen Kausalmomenten und der daraus resultierenden Formveränderungen (Instanzen) leicht feststellen und graphisch auf Kurve I übertragen. Danach ist auch der Zeitpunkt der Geburt auf der phylogenetischen Kurve festzustellen, der nicht notwendig auch mit dem anthropogenetischen Fixpunkt zusammenfallen muß, da wir mechanistisch ebenso gut intrauterine wie extrauterine Kausalmomente für die anthropogenetische Formbildung erkannt haben.

Die erste menschliche Position ergibt sich aus einer Schwächung des Lendenabschnittes der Wirbelsäule, entstanden durch den intrauterin auftretenden Lendenknick. Das Aufrichten der gesamten ungebrochenen Rumpfachse, das wir bei den Primaten noch als charakteristisches Artmerkmal finden, haben wir als zweitletzte Position vor der Anthropogenese auf unserer phylogenetischen Kurve markiert. Der aufrechte Gang kann hier nur durch Ausbalancieren mittelst eines langen beweglichen Kaudalteiles und durch langes Gestalten der hintern Gliedmaßen zustandekommen; oder dieser Gang ist nur zeitweilig vorübergehend aufrecht, wie beim „Tanzbär" usw. Wir haben schon an anderer Stelle hiervon gesprochen; er bleibt stets unelastisch steif oder gebückt. Das ist auch beim menschlichen Kinde noch der Fall zur Zeit, wo es beginnt zu Stehen und zu Gehen (s. Fig. 117). Die Fähigkeit elastisch balancierend zu gehen gibt ihm erst die relative „Schwäche" der Lendenwirbelsäule, die mit dem Lendenknick entstanden ist.

Das zweite Artmerkmal, das sich am neugeborenen Menschen wenige Monate nach dessen Geburt geltend macht und durch das sich die Art homo besonders von den übrigen Geschöpfen auszeichnet, sind Symptome einer überlegenen Geistesfunktion, wie Weinen, Lachen und Sprache. Diese prävalierende Geistesfunktion, die sich später ja noch erheblich steigert, ist bedingt durch die instanzliche und sodann positiv erworbene, vermehrte Faltenbildung des Zentralorganes, während Entfaltung von Stimme und Sprache offenbar erst aus der aufrechten Rumpfhaltung erwachsen.

Im weitern Verlaufe der Entwicklung nun tritt eine interessante Wechselwirkung zwischen Ursache und Folge ein, die sich durch Vergleich der beiden Kurven ergibt. Die Abbiegung des Beckenrohres bei der ersten Beckenformierung hat die Ausbildung der Blase im untern Teil des Urachusschlauches begünstigt und damit durch Verlegung des Schwerpunktes beckenendwärts (s. Fig. 123 Statik und Lokomotion) wesentlich zur Entlastung des vordern Rumpfpoles beigetragen. Wenn damit schon der Möglichkeit einer Aufrichtung der Rumpfachse Vorschub geleistet worden ist, so muß gerade dieser Akt der Aufrichtung seinerseits wieder ein Sinken der Urinblase nach dem Beckenende hin noch mehr begünstigen. Es kommt dadurch zu vermehrter Aufrichtung und infolge der bereits bestandenen Bruchanlage der Wirbelsäule zum völligen Lendenknick, der nach dem Mechanismus des gebrochenen Schlagbaumes zum Ausbalancieren der beiden Achsenstücke führt und damit zur endgültigen Befestigung der entwicklungsmechanischen Position. Es geschieht das, wie wir gesehen, mit relativ versteiftem kürzerem Beckenachsenstück und der relativ beweglichen obern Rumpfachse, die am Verstärkungsapparat im Lumbosacralsystem sich pendelnd bewegt. Der gebrochene Schlagbaum kommt erst nach längerm Hin- und Herpendeln und durch allmählichen Ausgleich aller innern und äußern Kräfte zur Ruhe. So muß auch die phylogenetische Position: „aufrechter Gang mit Pendelbewegung" beim Menschen erst durch langdauernde Übungen im Ausgleich dynamischer Wechselbeziehungen zwischen der ontogenetischen Formbildung und der funktionell ausgleichenden statischen Formerhaltung endgültig gefestigt werden. Es ist oben schon darauf hingewiesen worden, daß, je höher konstituiert und namentlich auch je höher potenziert die beiden Kontrahenten einerseits und klimatische Verhältnisse der Außenwelt usw. anderseits im dynamischen Ausgleich sind, um so reicher gestalten sich die Austauschmöglichkeiten zwischen Organimus und Nahrung, um so labiler ist aber auch der Gleichgewichtszustand des Organismus geworden. So hat sich denn — phylogenetisch genommen — die organische Substanz unter stetem Kampf und Austausch mit der Außenwelt durch Selbstentwicklung herangezüchtet und sich von Position zu Position emporgearbeitet.

Und wenn wir wieder die Amöbe als Urtier in der Stufenleiter der tierischen Entwicklung annehmen wollen und ihre Organisation in Vergleich setzen zu der Eizelle irgendeines höher entwickelten Säugetieres, so wird der ersteren nur ein relativ kleiner, der letztern ein größerer Aktionsradius der chemisch-mechanischen Valenz zukommen; denn in diesem letztern ist bereits die Anlagemöglichkeit für die ihrer Art eigenen chemischen und mechanischen Apparate und Maschinen gegeben.

In diesem beschränkten Sinne kann man das ontogenetische Grundgesetz gelten lassen. Die entwickelte Form des Individuums aber, die aus der Eizelle entsteht, wird im Wachstum durch die Raumverhältnisse des mütterlichen Uterus so wesentlich beeinflußt, daß daraus selbst eine neue Art entstehen kann. Das zeigt in voller Deutlichkeit das Auftreten des Lendenknicks und der übrigen anthropomorphen Eigenschaften an der menschlichen Frucht, als Folgen einseitig beschränkter Raumverhältnisse im Fruchthalter.

In der ganzen phylogenetischen Entwicklungsreihe muß also die Aufeinanderfolge der einzelnen Kausalmomente, die jeweils zur Bildung neuer Arten geführt haben, eine durchaus gegebene sein, wenn wir auch heute nicht mehr imstande sein sollten, die Ursachen jeder neuen Position mit derselben Sicherheit so zu erkennen, wie wir es jetzt für die ontogenetischen Instanzen bei der Entwicklung des menschlichen Individuums zu tun imstande sind. Wir werden indes im letzten Kapitel des Buches versuchen, auch für die Phylogenese der Tierwelt einen genealogischen Stammbaum der mechanischen Korrelation zu entwerfen.

Für den Menschen aber lautet die Reihenfolge der mechanischen genetischen Kausalmomente in der Genealogie wie folgt:

1. Kugelform des Uterus;
2. Verkürzung der Längsachse und Lendenknick;
3. Senkung der Urinblase;
4. Aufrichtung und Ausbalancieren der geknickten Wirbelsäule;
5. Abrundung des Beckenendes und Ausweitung des Beckenringes.

Die beiden ersten (1 und 2) dieser Momente sind noch intrauterin, die letzten drei (3—5) jedoch sind erst extrauterin zu erkennen; denn sie treten erst nach der Geburt des Individuums auf und können zum Teil erst nach Jahren an der Körperform konstatiert werden. Die nachfolgende Instanz ist dann auch jeweils als die natürliche Folge der nächstvorhergenden anzusehen. Bei 3, 4 und 5 kann die Senkung der Urinblase aber sowohl als ursächliches wie als Folgemoment aufgefaßt werden, so daß die beiden Momente 3 und 4 in ihrer Folgerichtigkeit als Instanzen auch vertauscht werden können.

Der erwähnte Umstand, daß eine ganze Reihe dieser Momente zum Teil erst nach Jahren nach der Geburt nachzuweisen ist, muß uns auf den berechtigten Gedanken bringen, daß der Begriff Mensch nicht schon bei der Geburt dem menschlichen Individuum zugesprochen werden darf, sondern daß sich auch dieses noch längere Zeit gewissermaßen in einem Puppen- oder Larvenstadium befindet.

Diese Auffassung muß richtig sein. Denn anthropogenetisch wie phylogenetisch subsummieren wir unter den Begriff, den wir mit dem Ausdruck „Mensch" bezeichnen, bekanntlich bereits das Vorhandensein der auf zwei Beinen aufrecht stehenden, aufrecht wandelnden Körpergestalt. Phylogenetisch genommen aber ist die — abgesehen von „unrichtiger" Körperproportionen und dem Fehlen geistiger Fähigkeiten — vollkommen anthropomorphe Körpergestalt zur Zeit der Geburt ebensowenig vorhanden, wie ontogenetisch. Es ist nun logischerweise anzunehmen, daß ein Moment (Position), das in der phylo-

genetischen Entwicklungsreihe wirklich kausal zur Bildung einer neuen Art geführt hat, auch in der Ontogenese dieser Art wieder zur Geltung kommt. Das bedingt wiederum, **daß die einzelnen Kausalmomente und Positionen in Ontogenese und Phylogenese einer Art in ein und derselben Reihenfolge wiederkehren müssen.** (Erweitertes phylogenetisches Grundgesetz). L.S.104.

Gibt es nun aber in der Tat in der individuellen Entwicklung des menschlichen Körpers bis zu dessen gänzlicher Formvollendung einen Zeitabschnitt auch nach der Geburt, der sowohl der Ei-, wie der Stammesentwicklung angehört, so müssen die Veränderungen, die wir während dieser Zeit an der Form nachweisen, in Ursache und Folge phylo- wie ontogenetisch auch einheitlich gedeutet werden können; denn erst mit erlangter Formvollendung sind die beiden Kurven des Artindividuums abgeschlossen.

Die Formveränderungen, die wir für den Menschen auf beiden Kurven verzeichnet finden, sind oben unter Ziffer 3, 4 und 5 genannt als Blasensenkung, Ausweitung des Beckenrings und Aufrichtung der Wirbelsäule. Ontogenetisch haben wir als ursächliche Momente hierfür 1 und 2 angesprochen, die da sind: Kugelform des Uterus und Lendenknick.

Es wäre nun wohl umgekehrt auch die Frage aufzuwerfen und zu beantworten:

Kann nicht auch das erste Kausalmoment (Position), das wir phylogenetisch als spezifisch anthropomorph angesprochen und zum Ausgangspunkt unserer ontogenetischen Kurve gemacht haben: ich meine die Kugelform des schwangern menschlichen Uterus bereits als natürliche Folgeerscheinung irgendeines andern ursächlichen Momentes in der Kette der phylogenetischen Entwicklungsreihe betrachtet werden? —

Diese Frage muß bejaht werden. Und wenn unsere Deduktionen überhaupt bis jetzt richtig sein sollen, muß die Entstehung dieser Positionen kausaliter direkt zurückgeführt werden können auf die nächst vorhergehende Position der phylogenetischen Kurve. Es wäre dies die partielle Aufrichtung der ungebrochenen Rumpfachse bei den Primaten. Diese Position kann in der Tat sehr wohl als das ursächliche Moment gelten für die Entstehung der Morphogenese des menschlichen Uterus; denn dabei sind dieselben mechanischen Momente wirksam gewesen, die in der spätern Phase der phylogenetischen Entwicklung der Formbildung der menschlichen Blase, des Uterus und der Verkürzung des Beckenendes tätig waren: Sie sind ihre Vorläufer gewesen.

Fassen wir das Ergebnis dieser Betrachtung nochmals zusammen!

Die graphische Darstellung der individuellen ontogenetischen Eientwicklung zeigt den organischen Stoff in seiner ganzen chemischen und mykrophysischen Leistungsfähigkeit. Die fortschreitende Entwicklung der Substanz ist danach das Resultat ihrer Vererbung und der mechanischen und nutritiven Formierung im mütterlichen Brutapparat, sowie nach Verlassen desselben durch die dynamische und chemische Einwirkung von Seite der aufgenommenen Kontenta zur maschinellen Anlage: mechanische, morphologische Formbildung und Kraftanlage durch Ausnutzung der innern Energie. Die Kurve der phylogenetischen Stammesreihe dagegen gibt das Bild des technischen Fortschrittes wieder, der durch bestmögliche Ausnützung der ontogenetisch vervollkommneten Anlagen aller die Art umfassenden Individuen erzielt worden ist. Die Position wird nicht nur unter allen Umständen zu halten, sondern mit der Zeit auch zu verbessern gesucht: Funktionelle Anpassung von Stoff und Form an die äußere Lage. Statische Formerhaltung der Art durch äußere Dynamik (Schwerkraft).

10. Die geistige Menschwerdung.

Obgleich das Problem der physischen Menschwerdung, das streng genommen allein unser Thema berührt, seinen Ausgang bei der Aufrichtung der Rumpfachse nimmt und mit der Konstatierung des Lendenknicks beim Menschen physikalisch als gelöst betrachtet werden muß, so hatten wir uns doch im Laufe unserer Arbeit immer wieder genötigt gesehen, rückläufig weiter auszugreifen.

Die Verfolgung der Beziehungen zwischen Form und Stoff — sie führte uns stets wieder bis zum Urstoff und bis zum Uranfang der Materie zurück, ohne daß wir je die Absicht gehabt hätten, evolutionistische Theorien aufzustellen oder zu verfolgen.

Die Frage nach der Entstehung des Lebens, die wir einleitend kritiklos berührt haben, hat uns anfänglich nicht mehr interessiert, als jeden andern denkenden Menschen auch. Nachdem es uns aber einmal vergönnt gewesen, einen flüchtigen Blick zu werfen in die Konstruktionswerkstätte der Natur und dabei einige der wichtigsten, bis jetzt geheim gehaltenen Bauprinzipien zu belauschen, so hatte damit auch jene Frage für uns immer mehr an Interesse gewonnen. Ich müßte es daher als eine Unterlassung bezeichnen, wollten wir, am Schlusse unserer Arbeit angelangt, zu dieser wichtigsten Grundfrage der Forschung — zur geistigen Menschwerdung — nicht auch noch summarisch Stellung nehmen, dies um so mehr, als wir bereits auch schon die Formierung des Kopfes unsern Betrachtungen unterstellten, mit der jene Frage in innigstem Zusammenhange steht.

Nachdem die Form eines jeden Stoffes sich als das notwendige Ergebnis im Austausch zweier Faktoren, als den Ausgleich aller innern und äußern Kräfte eines Stoffes enthüllt hat, ist der eine Faktor — auch im mathematischen Sinne genommen — stets eine Funktion des andern. Im organisch lebenden Stoff aber lassen sich kausalanalytisch die selbst geschaffenen maschinellen Anlagen nachweisen, wo Energiewerte, die hier längere Zeit latent bleiben können, sich in beträchtlicher Menge aufstapeln lassen in der Weise, daß sie, durch ein leichtes Moment ausgelöst, plötzlich zu beträchtlicher Kraftentfaltung und Arbeitsleistung gebracht werden können. Auf diese Weise wurde leicht der Anschein erweckt, als ob eine geheimnisvolle besondere Kraft dem Organismus innewohne.

Die Vorstellung von dem Bestehen dieser eigenen Lebenskraft ist indes in der Wissenschaft längst endgültig gefallen, und doch scheut man sich immer noch daraus alle Konsequenzen zu ziehen.

Sämtliche Energieformen haben wir, gleich wie die protoplasmatische Substanz in drei Gruppen eingeteilt und speziell der für die Formenlehre wichtigsten mechanischen (II. Energie-) Gruppe unsere Aufmerksamkeit geschenkt (s. Seite 226). Diese II. Gruppe liefert aber auch in Verbindung mit der I. und III. das Material und Substrat für die technisch verwendbaren Apparate und maschinellen Anlagen zur Aufnahme und Entfaltung der (III.) Reizgruppe der Energieformen, an denen sich die Empfindungs- und Willensäußerungen des Organismus, wie sein ganzes Geistesleben in ähnlicher funktioneller Weise vollziehen, durch Aufstapelung von Reizen und Erinnerungsbildern („Engrammen") aller Art, wie dies ja in unserem Zeitalter der Erfindungen von Photographie, Mikrophonie, Telephonie, Telegraphie, Grammophon, Kinematograph usw. usw. technisch und kinematisch in mehr oder weniger vollkommener Weise fast restlos nachgeahmt ist.

L.S.105. **Das Engramm bildet dabei in der nukleoiden (*n*.) Substanz durchaus das Analogon zu der „inhaftierten" Formbildung der plasmatischen (*p*.) Substanz.** Beide entstehen auf äußern Reiz hin als vorübergehende oder bleibende Veränderung im Organismus, das Engramm durch Einwirkung einer Energieform der Reizgruppe (III), wie

die inhaftiert bleibende und eventuell zur „Position" führende Formbildung der plasmatischen *p*-Substanz auf eine Reizwirkung der mechanischen (II.) Gruppe zurückgeführt werden muß. **Aufstapelung und Umsetzung von Reizenergieformen ist alles!**

Was bleibt da noch übrig, die dualistische Weltanschauung weiter zu halten? —

Das auslösende Moment jeder Kraftentwicklung im organisierten lebenden Körper ist also zunächst ein einfacher Reiz, die Einwirkung irgendeiner jener Energieformen, die wir in der (III.) Gruppe unter dem Namen „Reizenergien" zusammengestellt haben, obgleich ja auch die Wirkung der Energieformen der beiden anderen Gruppen (I und II) auf die plasmatische Substanz in Tat und Wahrheit auch nichts anderes ist, als Reizwirkung irgendeiner chemischen oder mechanischen Energieform. Ob der irritierende Reiz im nackten Amöbenleib direkt in der ganzen Körpersubstanz zur auslösenden Wirkung kommt, ob er in gut isolierten Nervenbahnen bis zur Kraftanlage weiter geleitet und hier in einfachster Bahnanlage transitorisch sofort reflexauslösend wirkt, oder aber erst in kompliziertere Zentralanlagen geleitet, hier gesammelt und übersetzt wird, um erst später als Willensreiz oder in geistiger Arbeitstätigkeit frei zu werden, das alles ist prinzipiell durchaus gleich und hängt nur einerseits von der Intensität des primären Reizes und anderseits von der vorhandenen Organisation und Vervollkommung der technischen Zentralnerven-Anlage des Organismus ab.

Zwischen der mechanischen Spannungsanlage eines zwischen zwei relativen Fixpunkten eingespannten Muskels und einer zwischen Empfangs- und Endstation eingefügten elektrischen Anlage besteht somit nur ein technischer Unterschied im Bau für zwei verschiedene Energieformen. — Rein kinergetisch erfolgen nur die Reizempfindung und der reflektorische Akt. — Eine spontane Willensäußerung aber ist wie jeder Vorstellungsakt, sei er dem optischen oder akustischen Vorstellungstypus (*VT*)*) entsprungen, einer in der Zentralnervenanlage aufgespeichert gewesenen potenziellen Energie entstammt, die zuvor noch eine Reihe assoziierter kinetischer, kinematischer oder chemischer Umsetzungen und Umwandlungen durchgemacht hat. Dort ist die einzige Vorratskammer für die gesamte Nerven- und Geistestätigkeit des Organismus. Jeder seelische und Geistesvorgang ist also die Folge momentaner oder früher aufgetretener äußerer Reize, der Einwirkung äußerer Reizenergien, die das organische Individuum von außen her getroffen haben, und die in ihm inhaftiert worden sind. **Die Seele,** d. i. die Summe aller psychischen Vorgänge und Zustände im Körper, ist ebenso wie jede andere Energieform von außen her in denselben gelangt, aber ebensowenig wie diese, auf einmal „eingehaucht", sondern nach und nach inhaftiert worden. **Sie ist nicht ein Wesen für sich, sondern vielmehr ein Beharrungszustand ihres Substrates,** speziell der kompliziertest konstituierten stickstoff- und phosphorhaltigen nukleoiden Protoplasmasubstanz (*n*). Sie erwacht langsam erst nach den übrigen Lebenserscheinungen des organischen Individuums und erlischt rasch mit dem Aufhören derselben (siehe: Definition des Begriffes „Leben" Seite 252). L.S.106.

Daß die morphologische Ausbildung der Zentralnervenanlage eines Organismus oder einer Art und ihr geistiges Vermögen in geradem Verhältnis zueinander stehen, bleibt unbestritten. Insbesondere ist es die Flächenentfaltung der Großhirnrinde, welche den Intellekt befördert. Sie ist beim Menschen durch Wulst- und Faltenbildung maximal gediehen. Darauf, wie auf der relativen Massenzunahme des Gehirns überhaupt, beruht also die hervorragende Geistesvalenz der Art, somit auch die geistige Menschwerdung.

*) Siehe C. GARRÈ, Deutsche med. W. Nr. 18, 1920, Das Lehren und Lernen der Chirurgie.

Worin die Ursachen der morphologischen Gestaltung der menschlichen Gehirnform zu suchen sind, darüber hat sich schon HIS in seinen gründlichen anatomischen und experimentellen Untersuchungen in vollkommen überzeugender Weise dahin geäußert, daß sie nur durch eine relative Wachstumshemmung, hervorgerufen durch eine Verkürzung der Längsachse, erklärt werden könne. „Nicht spezifisches Wachstum, sondern ungleiche Widerstände!" —

Relative Verkürzung der Längsachse der Frucht, wie wir sie in unserer Beckenanalyse als eigentliches ursächliches Moment für die Entstehung des Lendenknicks und damit für die physische Menschwerdung mit mathematischer Sicherheit nachgewiesen haben, — dasselbe rein mechanische Kausalmoment, ist also von anderer Seite auch schon für die geistige Anthropogenese in Anspruch genommen worden.

Die mechanischen Kausalmomente in ihrer bestimmten Reihenfolge:

1. Annahme der Kugelform des mütterlichen Uterus infolge Senkung des Blaseninhaltes nach dem Beckenringe zu durch allmähliche Aufrichtung der Rumpfachse bei den Primaten (Schimpanse).
2. Relativ vermehrter Druck in der Längsachse der Frucht und daherige relative Wachstumshemmung in dieser Richtung;
3. Verkürzung des Kaudalteiles der Wirbelsäule und Abknickung ihres Lendenteils durch Kontaktwirkung zwischen dem menschlichen Beckenring und der Zentralkugel;
4. Vermehrte Senkung der Urinblase und Abrundung des Beckenendteiles,

das sind die mechanischen, morphologischen Gestaltsveränderungen am hintern Rumpfende der menschlichen Frucht;

1. Kugelformbildung der Gehirnanlage;
2. Verkürzung des Gesichtsteiles;
3. Verkürzung und Verbreiterung des Gehirnventrikels nebst vermehrter Faltenbildung der Großhirnrinde und Stauchung der Gehirnstränge,

diejenigen am vorderen Ende im appositionell gelegenen Zentralnervenorgan (s. S. 55, Fig. 33).

Dieselbe Kette von Positionen und Kausalmomenten in der ontogenetischen Entwicklung der menschlichen Frucht erklärt somit in gleich ungezwungener und überzeugender Weise die geistige wie die physische Menschwerdung auf rein mechanistischem Wege. Ihr Auftreten ist auch phylogenetisch in derselben Reihenfolge nachweisbar und erklärbar (s. Fig. 125).

IV. Das Bauprinzip in den drei Naturreichen.

Formbildung und Formerhaltung. Dynamo-statische Gleichgewichtslage. Atomgewicht — Molekularkonstitution.

In den meisten der vorangegangenen Kapiteln ist uns die Verhältniszahl φ von so vielen verschiedenen Seiten her begegnet, daß wir ihrer beinahe überdrüssig geworden sind. Jedenfalls sind uns dadurch die beiden Gestaltungsbegriffe „Formbildung und Formerhaltung" eines Stoffes längst geläufig geworden, als deren Quotient der beiden, des innern und des äußern Faktors, uns jene Zahl φ erscheint.

Eine jede Materie, die wir kennen, muß also unter den ihrer Zusammensetzung günstigen Verhältnissen entstehen, und wenn sie entstanden ist, sich auch in diesem Zustande bei den in statu nascendi herrschenden äußeren Verumständungen (Druck, Temperatur usw.) weiter erhalten können. Das ist jedem Anfänger der Chemie verständlich. Die beiden Begriffe:

Formbildung M und Formerhaltung N scheinen auch jetzt für uns keiner weiteren Erklärung mehr zu bedürfen.

Daß sich, allgemein genommen, Stoff in seiner bestimmten Form nur so lange halten kann, als die beiden genannten Faktoren in einem bestimmten konstanten Verhältnis zueinander stehen, scheint mir nun ebenso logisch als durch unsere formanalytischen Untersuchungen mathematisch erwiesen zu sein. „In einer Wissenschaft" aber, sagt KANT, „ist so viel wahre Wissenschaft, als sie Mathematik enthält." — Eine Theorie hätte danach nur so viel Aussicht auf bleibenden Wert, als sie mathematisch begründet ist.

In der Tat ist die Mathematik die Schöpferin unumstößlicher exakter Begriffe; die Geometrie insbesondere gibt uns den Begriff von Lagebeziehungen von Punkten, Linien und Flächen; die Trigonometrie Relationswerte zwischen Winkelflächen und Linien. Während die Arithmetik uns die Begriffe der nackten Zahl beizubringen sucht, setzt die Geometrie sodann diese Begriffe in Raumbegriffe, die Mechanik in statische Begriffe um nach dem Relativitätsprinzip.

Alle diese Vorstellungen von Korrelationen müssen wir in der Analyse der Form verarbeiten und anwenden lernen. Mit der reinen mathematischen Zergliederung der Form ist es also noch nicht getan. Da, wo sich Formelemente aneinander verschieben, wie im Wachstum des pflanzlichen und tierischen Organismus, da ist aus den Lagebeziehungen morphologischer Organe zueinander auf die Energetik und die Kinematik der Masse und damit auf die reine physikalische Funktion abzustellen, d. h. auf die Funktion der Masse — einerlei, ob diese Masse „tot" oder „lebend", stabil oder labil geordnet und zusammengesetzt, anorganisch oder organisch sei. Denn **die physiologische Funktion der Biologie** — was ist sie anders als nur **der physikalische Vorgang in einer spezifisch gebauten organischen Substanz!** — L. S. 107.

So bleibt auch der Begriff der mathematischen Funktion in der Biologie zu Recht bestehen, und physiologische wie physikalische Funktionen lassen sich als das funktionelle Ergebnis, als das Resultat von Aktion und Reaktion aus dem Hebelarm der mathematischen Form ablesen und berechnen.

Als einen Rektifikator für die Berechnung unserer Körperform zur Beurteilung von Formentstehung und Funktion haben wir speziell für unsere Spezies den Quotienten aus Formbildung und Formerhaltung kennen gelernt. Er ist nach unseren obigen philosophischen Erwägungen und nach der Ballontheorie beim tierischen Organismus für jede Tierart konstant und besonders zu eruieren, gleich etwa wie der Härte- und Elastizitätsgrad für jedes technisch zu verwendende Material zu berechnen ist.

Für das gesamte Tierreich ist dabei $N > M$ anzunehmen (siehe oben Seite 238). $\frac{N}{M}$ ist somit beim tierischen Organismus stets größer als Eins; $\frac{M}{N} < 1 = \frac{1}{q}$. Die Relation $M : N$ wird daher für jede Tierspezies stets einen „echten Bruch" ergeben, wobei aber für diese Korrelation eine Menge von Zahlenwerten denkbar sind, indem nur immer der Nenner größer sein muß, als der Zähler. Hier ist nun der gegebene Ort, auch die Untersuchungen CLAUDE BERNARDs*) in Kürze zu berühren, die er über den innern osmotischen Druck an einer großen Reihe von Tierspezies angestellt hat von den niederen Meerestieren ab aufwärts bis zu den Reptilien und Meersäugern. Die interessanten Resultate dieser ebenso schwierigen als verdienstvollen Untersuchungsreihe sind sehr beachtenswert. Sie

*) Siehe HÖBER, RUD., Physikal. Chemie der Zelle und der Gewebe. 1911. p. 28.

gipfeln in dem Satz, daß in aufsteigender Linie der Tierwelt eine allmählich sich steigernde osmotische Druckdifferenz entsteht zwischen innerer und äußerer Flüssigkeit, zwischen dem „Milieu intérieur", wie CL. BERNHARD das Medium genannt hat, in welchem die Gewebselemente leben, und dem „Milieu extérieur", dem äußern Medium, in dem der ganze Organismus sich aufhält.

Kommen wir wieder auf das Verhältnis $\frac{\text{Formbildung } M}{\text{Formerhaltung } N}$ zurück, so sind für die allgemeine Relations-Formel $M:N$ drei Möglichkeitsfälle zu geben, nämlich:

$$M \gtreqless N,$$

wobei in allen drei Fällen immer noch keine festen Zahlenwerte für M und N niedergelegt sind.

Den einen Möglichkeitsfall: $M < N$ haben wir für den tierischen Organismus bereits vorweggenommen und dabei nach CL. BERNARD konstatiert, daß der Unterschied zwischen Innen- und Außendruck mit steigender Organisation der Tierwelt sich stetig verändert. Der Quotient φ vergrößert sich, bis er beim Menschen den Wert 1 : 1,2246 errreicht. Es ist dies der von uns zuerst gefundene

I. Grundtypus der Formgestaltung, Tiertypus $\frac{M}{N} < 1$.

Fassen wir nun den zweiten Möglichkeitsfall ins Auge! $M > N$.

Hier sollen also die Momente der inneren Formbildung unter allen Umständen größer sein als der Druck der Außenwelt.

So liegen die Verhältnisse bei näherem Zusehen aber beim pflanzlichen Organismus, dessen osmotische Kraft wenigstens in seinem Wachstumsstadium sich so enorm steigern kann, daß seinem Druck ja bekanntlich die stärksten Mauerwerke und Gesteinsarten nicht zu widerstehen vermögen. Sie werden gesprengt, indem sich die Wurzel der Bäume immer weiter in den Boden einbohrt und sich hier verzweigt. Die Krone des Baumes aber wächst stetig in der Richtung der Schwerkraft entgegengesetzt in die Höhe, indem sie die letztere mit Leichtigkeit überwindet. Also auch hier sind die Momente der inneren Formbildung stärker als diejenigen des äußeren Widerstandes inklusive der Schwerkraft (tellurische Adhäsion).

Es ist nun auch ebenfalls eine längst bekannte Tatsache, daß jedem Nutzholz (Tannen-, Buchen-, Eichenholz usw.) nicht nur verschiedene aber durchaus charakteristische Kalorienmengen, sondern auch ganz bestimmte physikalische Eigenschaften zukommen. Die Technik hat sie alle auf ihre Zug-, Druck- und Biegungsfestigkeit, sowie auf alle anderen Beanspruchungen hin genau untersucht. Es kann also auch in der Pflanzenwelt nicht nur ein für die Art spezifischer osmotischer Druck allein ins Auge gefaßt werden, entsprechend dem spezifischen Serumdruck im tierischen Organismus — wir müssen auch hier einen Schritt weiter gehen und den Begriff der Artspezifität auf das pflanzliche Protoplasma ausdehnen, wie wir dies mit so viel Erfolg für das animale Art-P getan haben und wie es der Botaniker für die Pflanzenwelt ja längst schon getan hat (siehe KERNER v. MERILAUN, Pflanzenleben, I, S. 47). Damit tritt uns so manches Geheimnis der Biologie, dessen Lösung bisher verborgen war, offen zutage.

Wer kannte nicht beispielsweise das Schema der Blattstellung, welche meist für eine Pflanzenart eine charakteristische, spezifische ist und die bekanntlich durch mathematische Formeln in Bruchform $^1/_3$-, $^2/_5$-, $^3/_8$- usw.-Stellung dargestellt wird. Wir vergleichen damit das Konstruktionsprinzip des Pflanzenstengels mit demjenigen eines mehrstöckigen Turmes und seiner Wendeltreppenanlage mit Treppenfenstern. Dabei bezeichnen wir mit Stockwerk den Abschnitt des Stengels bis zu dem Punkte, wo wieder ein Fenster (Blatt- oder Knospen-

bildung) genau vertikal über das Eingangstor *O* zu liegen kommt. Der Nenner der Bruchformel bezeichnet dann die Anzahl der Fenster, die auf das Stockwerk kommen, der Zähler des Bruches aber die Zahl der Umgänge der Treppe, welche die letztere in einem Stockwerke macht.

Die häufigst vorkommenden Blattstellungen sind im „Pflanzenleben von KERNER v. MERILAUN, Bd. I, S. 375" durch folgende Bruchformeln ausgedrückt:

$$^1/_2,\ ^1/_3,\ ^2/_5,\ ^3/_8,\ ^5/_{13}.$$

Seltener vorkommende Blattstellungen sind noch:

$$^1/_5,\ ^3/_{14},\ ^5/_{23},\ ^2/_9,\ ^1/_4,\ ^3/_{11},\ ^5/_{18},\ ^2/_7,\ ^8/_{21},\ ^{13}/_{24} \text{ und } ^8/_{37}.$$

Verwandelt man diese gemeinen Brüche in Dezimalbrüche, um dadurch die Wertdifferenz zwischen den einzelnen Gliedern dieser Zahlenreihen besser übersehen zu können, so kommt man zu folgenden Maximal- und Minimalwerten, deren trigonometrische Berechnung zugleich folgende Winkelgrößen ergeben:

Möglich sind folgende Blattstellungsformeln:

Minimum

$^1/_5, ^2/_{10} = 0{,}2$	Stellung	$= \angle 11° 18' 40''$	$=$ log tg 9,30103
$^3/_{14} = 0{,}214$	„	$= \angle 12° 4'$	Winkeldifferenz 7°
$^8/_{37} = 0{,}2162$	„	$= \angle 12° 12'$	
$^5/_{23} = 0{,}217$	„	$= \angle 12° 14' 40''$	
$^2/_9 = 0{,}222$	„	$= \angle 12° 31'$	
$^1/_4, ^2/_8 = 0{,}25$	„	$= \angle 14° 2' 10''$	
$^3/_{11} = 0{,}272$	„	$= \angle 15° 15'$	
$^5/_{18} = 0{,}2777$	„	$= \angle 15° 31'$	
$^2/_7, ^4/_{14} = 0{,}2857$	„	$= \angle 15° 58' 50''$	
$^3/_{10} = 0{,}3$	„	$= \angle 16° 42'$	
$^{11}/_{34} = 0{,}3235$	„	$= \angle 17° 55'$	
$^1/_3, ^2/_6, ^3/_9 = 0{,}3333$	„	$= \angle 18° 26'$	Winkeldifferenz ca. 8°
$^3/_8, ^6/_{16} = 0{,}375$	„	$= \angle 20° 33' 20''$	
$^8/_{21} = 0{,}381$	„	$= \angle 20° 51' 10''$	
$^{13}/_{34} = 0{,}3826$	„	$= \angle 20° 55' 20''$	
$^5/_{13} = 0{,}3846$	„	$= \angle 21° 2' 20''$	
$^7/_{18} = 0{,}3888$	„	$= \angle 21° 15' 10''$	
$^2/_5, ^4/_{10}, ^6/_{15} = 0{,}4$	„	$= \angle 21° 15' 10''$	
$^4/_9 = 0{,}4444$	„	$= \angle 24° 40' 4''$	
$^6/_{13} = 0{,}4615$	„	$= \angle 24° 46' 30''$	
$^1/_2 = 0{,}5$	„	$= \angle 26° 33'$	

Maximum

Die Möglichkeitslatitüde schwankt somit zwischen $^1/_2 = 0{,}5$ und $^1/_5 = 0{,}2$ und einem Tangentenwinkel von $26\frac{1}{2}°$ und $11\frac{1}{3}° =$ ca. 15° Differenz.

Die Häufigkeitslatitüde dagegen umfaßt nur die Wertgrößen zwischen $^1/_3 = 0{,}333$ und $^1/_2 = 0{,}5$, also nur 0,1666, was einer Winkeldifferenz von 8° entprechen würde. Und doch: Wie groß ist nicht die Zahl der Spezies, die innerhalb

dieser verhältnismäßig sehr kleinen Bruchdifferenz ihre Konstruktionsmöglichkeit haben.

Da wir es hier stets nur mit „echten" Brüchen zu tun haben, so ist der Wert also $\frac{N}{M}$ stets kleiner als 1.

Zur Erleichterung des Gedächtnisses, um die häufigst vorkommenden Blattstellungsformeln im Kopfe zu behalten, ist bekanntlich folgende Zahlenreihe aufgestellt worden:

$^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_5$, $^3/_8$, $^5/_{13}$, $^8/_{21}$, $^{13}/_{34}$ usw.,

die man so konstruiert, daß die Zähler und Nenner jedes Gliedes dieser Reihe gleich ist der entsprechenden Summe der beiden nächst vorangehenden Glieder.

Die Bruchformel der Blattstellung wird so zu einem einfachen graphischen Mittel, um das Konstruktionsprinzip einer Pflanze leicht und übersichtlich zu formulieren und im Schema wiederzugeben.

KERNER v. MERILAUN schreibt dazu in vollkommen richtiger Würdigung der Verhältnisse: „Der Grund, warum jede Pflanzenart ganz unabhängig von äußeren Einflüssen, sozusagen ohne Kenntnis von den Verhältnissen, denen ihre Laubblätter in Zukunft ausgesetzt sein werden, schon in der Knospe die Blätter in vorteilhaftester Weise anlegt, kann nur aus der spezifischen Konstitution ihres Protoplasmas erklärt werden.... Die Stelle, wo am Umfange des Stengels ein Blatt sich anlegt, hängt gewiß nicht vom Zufalle ab, sondern ist in dem molekulären Aufbaue und in der Zusammensetzung des Protoplasmas der betreffenden Pflanzenart begründet." — Und wir unserseits fügen bestätigend hinzu: Ebenso auch liegt darin der konstante Elastizitäts- und Festigkeitskoeffizient einer Holzart begründet. — Was aber für die Pflanzenwelt gilt, sollte es nicht auch mutatis mutandis für die Tierwelt seine Gültigkeit haben?! —

So wichtig die angeführte Anerkennung des Spezifitätsbegriffes des Art-*P* in der Pflanzenwelt indes auch für unsere Forschung sein mag, indem sie die gewünschte Analogie im Konstruktionsprinzip der Tier- und Pfanzenwelt in schönster Weise bestätigt, so wäre doch im Grunde für die Kausalitätsforschung mit der Aufstellung der schematischen Bruchformeln der Blattstellung so gut wie nichts gewonnen. Wir müssen das, was diese Bruchzahlen ausdrücken, besser verstehen lernen! —

Da kommt uns die oben ausgeführte Umwandlung der einfachen Brüche in Dezimalbrüche und die daran geknüpfte trigonometrische Berechnung des „Steigungswinkels" fördernd entgegen; denn daß wir unter dem letzteren Ausdruck jenen Winkel zu verstehen haben werden, der der mechanisch-funktionellen Konstruktion des spezifischen Pflanzen-Art-*P* entspricht, — dieser Gedanke liegt nun nicht mehr ferne. Die Richtigkeit dieser Anschauung läßt sich auch leicht durch Anlegung des Winkelmaßes an die Figur in KERNER v. MERILAUNs Planzenleben, 1. Bd., Seite 373 demonstrieren, in welcher die Parastichen eines Fichtenzapfens dargestellt werden. In grober Messung finden wir da einen Steigungswinkel von ca. $16\frac{1}{2}^\circ$, während die trigonometrische Berechnung für die auf $^{11}/_{34}$-Stellung oben den genauen Winkel von $16^\circ 41'$ ergibt.

Wohl zu beachten ist ferner in der oben angeführten Umrechnungstabelle der Blattstellungsformeln die oft außerordentlich kleine Wertdifferenz zwischen den Konstitutionsformeln zweier ganz verschiedener Art-*P*, die sich zuweilen erst in der 2. und 3. Dezimalstelle geltend machen. Daraus geht hervor, daß es nur eines geringen Wertzuwachses bedarf, um ein Art-*P* in ein anderes von völlig veränderter mechanischer Funktion überzuführen.

Nachdem wir einmal beim menschlichen Protoplasma den konstanten Quotienten aus innerer Formbildung zu äußerer Formerhaltung erkannt haben, der unseren Deduktionen zu-

folge beim animalen Art-P kleiner, beim pflanzlichen dagegen stets größer sein soll als Eins, so ließe sich nunmehr auch die Frage aufwerfen, ob sich die Bruchformel der Blattstellung nicht noch weiterhin zur Ergründung der Kausalität auch der pflanzlichen Form verwenden ließe.

Wir gehen dabei wieder von der hypothetisch begründeten Grundformel der Pflanzenkonstitution aus, dem 2. Möglichkeitsfall der Korrelation M zu N, der da ist:

II. $M > N$, dem Grundtypus der pflanzlichen Konstitution, Pflanzentypus.

Betrachten wir die mechanischen Verhältnisse zunächst an einer im Wachstum begriffenen pflanzlichen Protoplasmakugel, als der Urform des pflanzlichen Organismus, der wir nun mit KERNER v. MERILAUN eine spezifische Konstitution, d. h. einen bestimmten mechanisch-chemischen Wert zuschreiben müssen.

Dem wachsenden osmotischen Innendruck steht der tellurische Widerstand, inklusive Schwerkraft entgegen. Dieser greift zunächst zentripetal an und wird durch den vom Zentrum aus radiär ausstrahlenden zentrifugalen Innendruck der Zelle paralysiert. Doch halten sich diese beiden Kräfte: zentrifugaler Innendruck und zentripetaler Außendruck in einem gegebenen Zeitmoment so ziemlich das Gleichgewicht. Da jedoch der osmotische Innendruck größer sein soll (Voraussetzung) als der Außendruck, so kommt das Plus der Innenkraft in anderer Angriffsrichtung zur Verwendung, und zwar in rotierendem Sinne als Tangentialkraft an der Peripherie der Zellkugel. Der in entgegengesetzter Richtung angreifende äußere Widerstand am Ende des Radius nun ist nach unserer Voraussetzung ($M > N$) stets kleiner als die Summe der inneren „formbildenden Faktoren". $\frac{N}{M}$ ergibt also stets einen „echten", $\frac{M}{N}$ einen „unechten" Bruch.

Ob nun das ebenfalls durch eine „echte" Bruchzahl ausgedrückte, für eine bestimmte Pflanzenart konstante Schema der Blattstellung für die Berechnung des spezifischen Quotienten aus $N:M$ verwendet werden kann? — Man sollte dies ohne weiteres glauben, da ja beide, Bruchformel der Blattstellung sowohl wie Quotient aus $N:M$ für die Art spezifisch und konstant sein sollen.

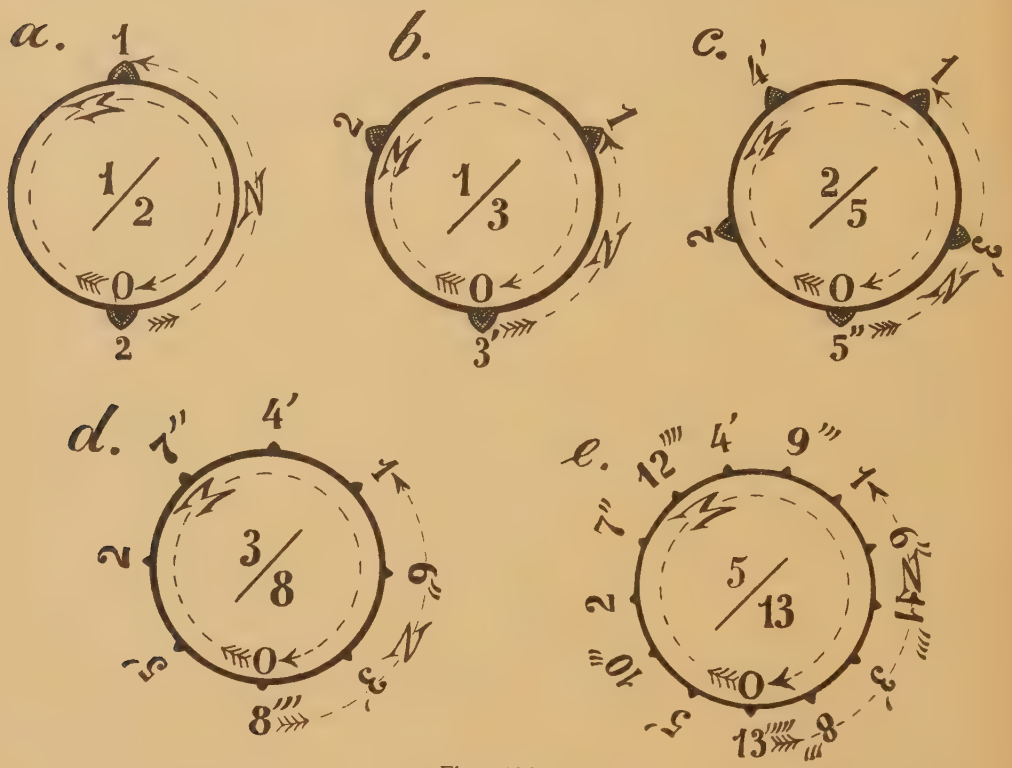
Versuchen wir es also einmal mit der kausal-analytischen Konstruktion des Schemas der Blattstellung an den fünf häufigst vorkommenden einfachsten Blattstellungsformeln!

Da M nach unserer Voraussetzung beim pflanzlichen Grundtypus in jedem Falle größer sein muß als N, so muß der Quotient aus $N:M$ einen „echten" Bruch ergeben. N kann also in einem Bruch nur die Rolle des Zählers zufallen, während der Faktor M durch den Nenner vertreten ist. Es entsprechen also bei der $^1/_2$-, der $^1/_3$- und der $^2/_5$-Blattstellung die Zählerziffern 1, 1 und 2 der äußeren „formerhaltenden" Widerstandskraft, die Ziffern 2, 3 bzw. 5 der inneren formbildenden osmotischen Dynamik. Der echte Bruch bezeichnet somit das Verhältnis, um wievielmal N kleiner ist als M, wenn M = Eins gesetzt wird, beispielsweise $M:N = 1:0{,}5$ maximal (bzw. 0,333 minimal).

Macht also die innere Kraft M in einem Zeitmoment an der Peripherie des Kreises eine ganze Rotationsbewegung (Fig. 126a), so ist die äußere hemmende Widerstandskraft bei der Pflanze mit $^1/_2$-Blattstellung um die Hälfte, bei derjenigen mit $^1/_3$-Stellung nur $^1/_3$ so groß, wie die innere rotierende Spannkraft. Nimmt man bei beiden Faktoren den O-Punkt als Ausgangspunkt der Bewegung an, so wird M (bei Fig. 126a) über die ganze Peripherie bereits zum Ausgangspunkt O zurückgelangt sein, wenn die in umgekehrter Richtung rotierend wirkende Hemmungskraft nach 1 gelangt ist. In diesem Zeitmoment gelangen M und N im Ruhepunkt 1 wieder ins mechano-statische Gleichgewicht. Es

kommt hier durch Materialanhäufung zur Knospen- bzw. Blattanlage, desgleichen im 2. Zeitmoment, im Ruhepunkt 2. — So läßt sich die Konstruktion für die $^1/_3$- bzw. $^2/_5$-Stellung (Fig. 126b, c), sowie überhaupt für jedes andere Blattstellungsschema nicht nur ausführen, sondern zugleich auch kausal erklären.

Nun geschieht aber diese mechanische Rotationsbewegung keineswegs in einer Ebene, wie sie durch die schematische Darstellung der Blattstellungen soeben auf dem Papier wieder-



Figur 126.
Blattstellungsformeln erklärt durch das dynamostatische Gleichgewicht.

gegeben wurde. Der Stengel der Pflanze wächst ja nicht nur durch Zunahme seines Querdurchmessers, sondern er wächst vornehmlich in die Länge. Die Bewegung des einzelnen Moleküls geschieht also nicht rein in der Richtung der Kreisperipherie, sondern vielmehr in der Richtung eines Schraubenganges. Der Winkel, den dieser Schraubengang zur Planebene des Kreises einnimmt, ist aber wieder von der mechanischen Konstitution des Art-*P* abhängig, bzw. vom Quotienten *M* zu *N*. Es ist also der oben trigonometrisch aus der Bruchform des Blattstellungsschemas berechnete „Treppen- oder Steigungswinkel", der für jede Pflanzenart hierfür maßgebend zu scheint. Aus der Konstitution des Art-*P*, bzw. aus dem davon abhängigen Konstruktionsprinzip der Pflanze ergibt sich dann von selber, ob eine oder mehrere Umdrehungen notwendig sind, um ein Stockwerk zu durchlaufen, d. h. bis wieder ein Blatt vertikal über den Ausgangspunkt *O* zu liegen kommt. *M* macht dabei so viele ganze Zeittouren, als der Zähler des Bruches der Blattstellungsformel angibt, bei $^2/_5$-Stellung also zwei, während die Nennernummer die Zahl der durch die Blattstellungsspirale

in einem Stockwerk wirklich vorhandenen Fenster (Knospen) andeutet, im angenommenen $^2/_5$-Beispiel also fünf. Die Reihenfolge der vorkeimenden Blätter an den Ruhepunkten ist die gleiche, wie in den Zeichnungen von Figur 126a—e durch die Nummern bezeichnet ist, die Tourenzahl von *M* ist durch beigefügte Zeichen ', ", "' angegeben. Immer kommt also dabei das Verhältnis *M* zu *N* in Betracht, das zwischen 1:0,3—0,5 schwankt, so daß *M* unter allen Umständen größer ist als *N*. Da aber *N* für einen Standort, an dem verschiedene Pflanzenarten wohl nebeneinander gedeihen, so ziemlich eine Konstante bedeutet, so ist dieser äußere Faktor *N* in der mathematischen Funktion *M* zu *N* die „unabhängige" Größe, *M* die „abhängige".

Gleich wie beim tierischen Organismus ergibt sich also auch in der Pflanzenwelt aus der Wechselwirkung des spezifisch gebauten Art-*P* mit der Außenwelt als notwendige Folge von Aktion und Reaktion, die Veränderung in Kraft und Form, also jede Lebensfunktion. **Immer ist es im pflanzlichen wie im tierischen Organismus das mathematische Gesetz, das überall ordnend und korrigierend eingreift, und die Selbststeuerung in Form- und Kraftwechslung überwacht.** L.S.108.

Es ist also auch in der Pflanzenwelt wie im Tierreich wieder die mathematische Funktion, welche der physikalischen Funktion zugrunde liegt. Die biologische Funktion aber ist nur ein Spezialfall der physikalischen: Sie ist ebenfalls das notwendig erfolgende Resultat einer mechanisch-chemischen Aktion und Reaktion eines hochkonstituierten Art-*P*, das sich in diesem Ausgleich mit den äußern Kräften selbst zu organisieren und durch Aufspeicherung von potentieller Energie für eine gewisse Zeitdauer am Leben zu erhalten vermag.

Um diese Aufspeicherung von Energie ermöglichen zu können, ist auch in der Pflanze das Vorhandensein von spezifisch gebauten besonderen maschinellen Anlagen (RH. FRANCÉ) notwendig. Sie entstehen wieder durch Selbstdifferenzierung nach dem Prinzip der Arbeitsteilung, Begriffe, die dem Botaniker schon längst bekannt und geläufiger sind, als dem Zoologen, wie der Begriff der Art-Spezifität des Protoplasmas selber. Aus diesen Begriffen leitet sich im fernern aber die Möglichkeit der evolutionistischen Weiterentwicklung des pflanzlichen wie des tierischen Protoplasmas selber ab, im Sinne der selbsttätigen Vervollkommung, sobald seine Außenwelt selber unter günstigere Austauschverhältnisse kommt (bessere klimatische und Ernährungsverhältnisse, Düngung usw.).

Und geschieht dies nicht auch in ganz derselben Weise tagtäglich vor unseren Augen mit der anorganischen Materie in der Retorte des Chemikers, der es mit seinen technischen Hilfsmitteln in der Hand hat, Temperatur, Druck, Elektrolyse usw. auf eine Verbindung von Atomen und chemischen Radikalen einwirken und so willkürlich neue, bisher unbekannte Verbindungen entstehen zu lassen.

Damit sind wir bereits auf die dritte und letzte Möglichkeit in der Korrelation *M* zu *N* zu sprechen gekommen, nämlich

$$M = N; \qquad \frac{M}{N} = 1, \qquad \frac{N}{M} = 1,$$

oder in Worten ausgedrückt:

III. Formbildung und Formerhaltung sind Eins, Kristalltypus, d. h.

1. Die Summe aller Faktoren, die zur Bildung einer Materie führen, ist gleich der Summe aller derjenigen, welche sie in der entstandenen Form auch weiterbestehen lassen.
2. Die Summe aller innern und äußeren Kräfte, die auf den Stoff einwirken, ist sich gleich.

3. Eine Störung dieses mechanisch-statischen Gleichgewichtes verändert den Stoff in seinem Wesen. Ein Selbstdifferenzierungsvorgang durch Arbeitsteilung ist logischerweise bei dieser Kategorie von Materie ausgeschlossen.
4. Der Stoff kann daher nur homogen beschaffen sein, und sich nur durch Apposition oder Interposition gleichgearteter Moleküle vergrößern. Streng genommen, ist auch das letztere ausgeschlossen, da selbst durch Interposition von Molekülen in die Substanz die letztere verdichtet und dadurch in ihrer Widerstandskraft nach außen gestärkt wird, gleichwie bei der Verdichtung von Gasen durch vermehrten Druck sich ihre Form (Aggregatzustand) verändert.

Wenn wir nun diese dritte Korrelationsmöglichkeit von Formbildung zu Formerhaltung für das Mineralreich reservieren und diesen einfachsten Grundtypus der Formgestaltung $M = N$ als Kristalltypus bezeichnet haben, so gestehen wir zum vorneherein, daß merkwürdigerweise die Verhältnisse hier noch keineswegs so abgeklärt erscheinen, wie bei den beiden Grundtypen der organischen Substanz, wo sie doch weit komplizierter liegen. Es müssen dabei nämlich in erster Linie die Grundformeln der Chemie auf ihre Haltbarkeit untersucht und geprüft und ganz speziell das Verhältnis von tellurischer Anziehungskraft und Druck zueinander wohl erwogen werden, nachdem die Untersuchungen am tierischen und pflanzlichen Protoplasma ganz speziell der tellurischen Anziehungskraft eine andere Stellung in der Mechanik der Moleküle eingeräumt haben, als die bisherigen Vorstellungen von Anziehung, Druck und Schwerkraft uns bis anhin gegeben hatten. Die Erwägung, daß die innern (molekularen) und die äußern Kräfte in statu nascendi sowohl wie auch späterhin sich das Gleichgewicht halten müssen, wird vielleicht erlösend wirken für manches noch ungelöste Rätsel; denn daß dieses Grundprinzip für den Aufbau der anorganischen Welt zu Recht besteht, scheint mir nunmehr über jeden Zweifel erhaben zu sein.

In den einfachsten Verhältnissen ist es wieder die mathematische Verhältniszahl, auf die sich *der Aufbau der chemischen Verbindung* stützt, gleichviel ob diese Verbindung aus zwei gleichwertigen also gleichschweren, oder aus verschiedenartigen, also verschieden schweren Atomen besteht.

$$Na_2 = 2\,Na = 23 + 23$$
$$NaCl = Na + Cl = 23 + 35{,}5.$$

Die inneren Kräfte, welche diese Atome in Molekülen zusammenhalten — nach den neuen Anschauungen sind es die Elektronen — müssen also nicht nur in statu nascendi des Stoffes, sondern auch späterhin in Wirksamkeit sein und bleiben, solange die Verbindung in dieser Form besteht. Dieser Gleichgewichtszustand aber wird gestört durch Zufuhr äußerer Energien (Wärme, Elektrizität). Und während eine solche Zufuhr von Kraft in der höher potenzierten organischen Substanz durch Aufstapelung geradezu das „Leben" entfacht, führt sie in der anorganischen zur Störung, ja zur Aufhebung des Grundverhältnisses, auf der die Existenzbedingung des Stoffes beruht. Dieser Gegensatz zwischen anorganischem und organisiertem Stoff ist aber wiederum nicht ein prinzipieller, sondern nur ein gradueller. Er beruht auf der leicht erklärlichen Tatsache, daß Mischungen jeder Art von Stoff, selbst auch verschiedenartiger Atome im Molekül, auf die Einwirkung äußerer Kräfte im allgemeinen leichter reagieren, als es Kompositionen gleichartiger Atome tun (Elemente). Das geht auch aus der Erfahrung hervor, daß ein Gemisch von zwei oder mehreren Komponenten tiefer siedet, als das arithmetische Mittel aus den einfachen Stoffen des Gemisches beträgt. Schmelz- und Siedepunkt liegen bei den Urstoffen also weiter auseinander. Das Temperaturintervall — sagen wir: die Zonenbreite der Existenz — für

einen Aggregatzustand einer Materie, unter der sie beständig ist, bewegt sich nämlich bei den meisten anorganischen Verbindungen und Elementen zwischen 4000° und 1000° absoluter Temperatur, während sie bei den kompliziertest chemisch gebauten organischen nur ca. 50° beträgt.

Da aber fast jeder Stoff — bestehe er aus gleichartigen oder verschiedenen Atomen — stets in verschiedenen Aggregatzuständen vorzukommen pflegt, so müssen wir hier nochmals des näheren auf die Molekular-Mechanik eingehen. Zudem gibt es fast keine Substanz, die absolut unlöslich wäre. Demzufolge muß in irgendeiner bestimmten Verdünnung ein Niederschlag in Kristallform existieren.

Über die Konstitution der anorganischen Salzlösungen haben die bedeutendsten Forscher der Neuzeit Untersuchungen vorgenommen (van t'HOFF, W. OSTWALD, FARADAY, NERNST, ARRHENIUS und viele andere). Nach der van t'HOFFschen Theorie der Lösungen verhält sich der in Lösung begriffene Stoff wie ein Gas, indem er in einem bestimmten Raumteil Wasser denselben osmotischen Druck ausübt, den er als Gasdruck ausüben würde, wenn er bei Abwesenheit des Wassers den gleichen Raum ausfüllte. Nach der AVOGADROschen Regel ist dieser osmotische Druck unabhängig von der Natur des gelösten Stoffes und allein bedingt von der Zahl der in Lösung begriffenen Moleküle, d. h. allein bedingt durch die Molekularkonzentration.

Verdampft man einen Teil des Wassers einer Lösung oder läßt diese gefrieren, so liegt im ersten Fall der Siedepunkt höher als der Siedepunkt des reinen Wassers, beim Gefrieren aber tiefer als der Gefrierpunkt des Wassers ist. Lösungen von gleicher Gefrierpunkterniedrigung stehen in einfacher Beziehung zum Molekulargewicht. Lösungen sind also in bezug auf die Zonenbreite der Existenz den gemischten Molekülen zu vergleichen.

Diese leitenden Sätze mußten wir hier anführen, um die Bedingungen und die Vorgänge bei der Kristallbildung überblicken zu können. Auf die verschiedenen Theorien und Anschauungen über das molekuläre Verhalten amorpher und kristallisierter Stoffe (mit L. FRANKENHEIM und O. LEHMANN) näher einzugehen, finde ich hier nicht für nötig.

Es mag aber zweckmäßig erscheinen, die wichtigsten Sätze aus O. LEHMANN*) über das Wesen der Kristallisation noch hervorzuheben.

1. Seite 119. Amorphe Körper (unregelmäßige Aggregate gleichartiger Moleküle) gibt es nicht unter den festen Körpern, denn die Festigkeit beruht auf der Kristallisation.
2. Seite 134. Das Hauptmerkmal der Kristalle ist ihre Fähigkeit zu wachsen.
3. Seite 145. Einfache Gesetzmäßigkeiten können wohl nur auftreten bei Stoffen, die nur aus einer Art von Molekülen bestehen. Solche sind die Kristalle, abgesehen von Mischkristallen.
4. Seite 167. Ein Hauptcharakteristikum eines Kristalles ist seine polyedrische Form, welche dauernd Bestand hat, trotz der Wirkung der Oberflächenspannung.
5. Seite 179. Die Kraft, welche die gestörte Form flüssiger Kristalle wiederherstellt, muß also eine andere sein (als die Elastizität), und da unter den bekannten Kräften sich keine findet, welche ähnliche Wirkungen hervorzubringen vermag, nannte ich sie „Gestaltungskraft" (O. L.) —

Außerdem machen wir hier noch auf folgende allgemein bekannte Tatsachen aufmerksam:

6. Jedem Kristall kommt ein bestimmter und für die Art charakteristischer Härtegrad zu.
7. Stoffe mit einfachen chemischen Molekulargefügen kristallisieren zumeist auch in einfachen stereometrischen Formen.

*) Die neue Welt der flüssigen Kristalle. 1911. Leipzig.

8. Substanzen mit verwandten chemischen Eigenschaften haben auch verwandte kristallologische Form.
9. Die meisten Kristalle besitzen eine bestimmte und konstante Menge Kristallwasser.
10. Das Wesentliche an einer Kristallform liegt bekanntlich
    a) in der Konstanz der Kantenwinkel der ebenen Begrenzungsflächen zueinander.
    b) In der Konstanz der Zahl, Stellung und Längenproportionen ideeller Achsen, wobei die eine derselben prävalieren kann (stereometrische Funktion.)

Es ist also auch hier in erster Linie wieder das mathematische System, welches den Aufbau der anorganischen Substanz funktionell regelt und beherrscht.

Noch ist hier gleich darauf hinzuweisen, daß die Orientierung dieses Systems, obgleich es sich gleich wie bei den anorganischen Körpern nach allen drei Raumdimensionen hin erstreckt, also körperlich ist, keineswegs notwendig wie bei den Organismen vertikal geschieht. Auch der anisotropische Bau des Kristalls ist also nicht statisch geregelt. Das Wachstum desselben vollzieht sich nach allen Richtungen nur nach dem mathematischen Grundplan und ist von der Richtung der Schwerkraft völlig unabhängig. Es liegt darin also ein wesentlicher Unterschied im „Wachstum" der anorganischen und der organischen Körperform, sowie eine Bestätigung der Annahme, daß in der Kristallologie Formbildung M und Formerhaltung N sich die Wage halten.

Die „Schwerkraft" aber haben wir beim Bauprinzip der organischen Substanz, der pflanzlichen sowohl, wie der tierischen, als den Hauptfaktor der äußeren, die Form erhaltenden Kräfte ansehen müssen und sie mit Hinsicht auf ihr Verhalten bei der Lokomotion des animalen Organismus besser mit dem synonimen Ausdruck „tellurische Adhäsion" bezeichnet.

Nachdem wir nun für die organische Substanz die neuen Begriffe der Formbildung und Formerhaltung klargelegt haben, so sollte es nicht mehr schwer erscheinen, diese Begriffe auch ohne weiteres auf den weit einfacher gebauten und in seiner Form weit konstantern anorganischen Stoff zu übertragen. Wenn dies indes größere Schwierigkeiten machen sollte, als sich voraussehen ließ, so müßte man wohl annehmen, daß in der Begriffsstellung bis anhin nicht alles klipp und klar gewesen ist. Das scheint in der Tat auch der Fall zu sein, und daraus erklären sich zunächst die zahlreichen Widersprüche, die abweichenden Theorien, welche die scharfsinnigsten Gelehrten und Forscher aller Zeiten auf dem Gebiete der *Molekularmechanik* aufgestellt haben.

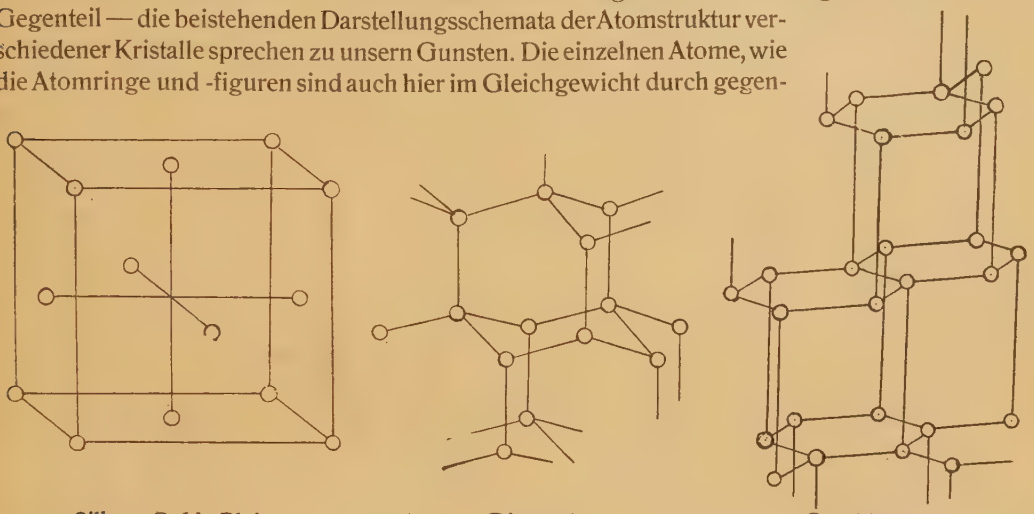
Man möge es mir daher zugute halten, wenn auch wir versuchen, hier dieser Frage näherzutreten, nachdem wir zwei neue Wegweiser entdeckt haben, die uns als Richtlinien in diesem scheinbar so einfachen, in der Tat aber recht schwierigen Problem dienen sollen. Es sind dies: Einmal das Gesetz der Selbststeuerung in Form und Kraftwechsel und sodann unsere mutmaßliche Annahme, daß für die anorganische Welt die Faktoren der Formbildung und Formerhaltung eins sein müssen, also $M = N$.

In dieser Denkweise kommen uns nun die Resultate der Erforschung der Kristalle, die bei der Abfassung dieses Kapitels noch nicht bekannt waren, halbwegs entgegen. Der Strukturbau der Kristalle nach der Raumgittertheorie LAUEs (1912) wurde durch die spätern Untersuchungen mittelst Interferenz der Röntgenstrahlen durchaus bestätigt (BRAGG, HULL) und dabei herausgefunden, daß die kleinsten Teilchen der Struktur die Atome selber sind, die „wie Tautropfen im Spinnengewebe" hängen. Die gegenseitige Lagerung der Atome ist genau bekannt. Von höchstem Interesse sind besonders die vergleichenden Untersuchungen der reinen Kohlenstoffe Diamant, Graphit und Kohle gewesen. Sie bestätigen

im Bilde die Anschauung van t'HOFFs, daß jedes C-Atom vier gleichwertige Valenzrichtungen hat. Die Atome liegen dabei in „flächenzentriertem, kubischem Gitter" (VEGARD).

Was hat man aber bei der anorganischen Substanz unter *M*, was unter *N* zu verstehen? — Und was macht das Wesen dieser Substanz selber aus? — Mit der Beantwortung dieser letztern Frage müssen wir beginnen. Sie ist bereits schon oben angeschnitten worden, als zu einer rein chemischen Frage gehörend.

Auf die erste Frage gibt uns BORN folgende Antwort: „Es sind elektrische Anziehungs- und Abstoßungskräfte, die zwischen den Atomen wirken und die Gitterordnung der Kristalle herbeiführen." Wird dadurch unser Postulat: $M = N$ umgestoßen? — Wir glauben: Nein. Im Gegenteil — die beistehenden Darstellungsschemata der Atomstruktur verschiedener Kristalle sprechen zu unsern Gunsten. Die einzelnen Atome, wie die Atomringe und -figuren sind auch hier im Gleichgewicht durch gegen-



Silber, Gold, Blei. Diamant Graphit, Kohle.

Figur 127.
Schema der Atomstruktur nach P. EWALD (Natur und Technik).
Spannungsausgleich innerer und äußerer Kräfte.

seitige Spannung der Atome; doch habe ich früher schon darauf hingewiesen, daß Kristalle — im Gegensatz zum pflanzlichen und tierischen Individuum — keine Vertikalorientierung haben. Es müssen also in der Tat andere Kräfte als die Schwerkraft bei der Kristallstruktur im Spiele sein.

Die chemische Definition eines Stoffes richtet sich nach der Art seiner Zusammensetzung. Jede Materie mit gleichartiger chemischer Zusammensetzung gehört zu derselben Stoffart. Damit steht der Begriff der Artspezifität des Protoplasmas bei der organischen Substanz durchaus im Einklang. Wir haben also gut getan, wenn wir in der Tier- und Pflanzenwelt in Umkehrung der VERWORNschen Ordnungstabelle (S. 230) die Einheit der Substanz in den Vordergrund gestellt haben, wie dies der Chemiker mit seinem Stoff ja stets getan hat.

Wie aber kann dieser mit Sicherheit die Zusammensetzung dieses Stoffes erkennen, wie mit Sicherheit beurteilen, ob zwei verschieden aussehende Stoffe wirklich verschiedene Zusammensetzung haben, oder umgekehrt, ob nicht verschieden aussehendes Untersuchungsmaterial von gleicher chemischer Zusammensetzung sei?

Für den Chemiker ist nichts leichter als das. Hat er doch für die meisten Substanzen die Grundstoffe gefunden, welche in der Substanz enthalten sind. Es sind Atome, die sich bis jetzt nicht mehr weiter teilen lassen. Zudem hat er die Verhältnisse nach Gewicht

berechnet, welche für die Zusammensetzung einer gewissen Substanz immer die nämlichen sind. Die scharfsinnigsten Untersuchungen der ersten Forscher haben nicht nur Zahl und Größe, Gewicht und Beweglichkeit, ja sogar die Dichtigkeit der Atome in einem kleinsten Raum darzustellen und zu berechnen gewußt. Man weiß z. B., daß ein Atom Chlor (Cl) 35,5 mal so schwer ist, wie ein Atom Wasserstoff (H), ein Atom Natrium (Na) aber 23 mal. Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß sich stets 23 Gewichtsteile Na mit 35,5 Cl zu Kochsalz verbinden, daß also in einem kleinsten Partikelchen (Molekül) Kochsalz (NaCl) stets ein Atom Cl mit einem Atom Na vereinigt ist.

Sobald aber zwei Materien sich vollkommen gleichen, so müssen wir logischerweise beide als souverän erklären und ihnen den Individualitätsbegriff beilegen. Wenn sich mehrere oder sehr viele solcher Individuen (Moleküle) verbinden, so können sie sich wohl nach einem bestimmten Plane zu einem Ganzen zusammenlegen, z. B. kristallisieren; immer aber gleicht das Ganze, der Kristall, in seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften dem einzelnen Molekül. Höchstens besteht ein Unterschied noch darin, daß der Kristall
L.S.109. auch noch Wasser als Bindesubstanz enthält. **Der Kristall ist also sowohl als eine organisatorische Vereinigung gleicher Individuen der Art, wie als Individuum aufzufassen, da Beide das Bauprinzip der Art widerspiegeln und daher Spaltung der Substanz den Artbegriff nicht aufhebt. Der chemische Individualitätsbegriff aber kommt dem Moleküle zu,** d. h. einer in bestimmter Zahl und in dynamo-statisch gesicherter struktureller Anordnung stehender, gleich- oder ungleichwertiger Atome.

Was aber hat man sich unter Atomgewicht, was unter Molekulargewicht zu denken? —

Unter Gewicht — gemeinhin „Schwere" genannt — bezeichnet der Physiker den Druck, den ein Körper zufolge der Anziehungskraft der Erde (Schwerkraft) auf seine Unterlage ausübt. Er kennt genau die Gesetze, unter denen diese Schwerkraft wirkt; „aber kein Mensch weiß zu sagen, was im Grunde diese Attraktionskraft der Erde ist", sagt A. ZART mit Recht am Schlusse seiner lesenswerten kleinen Broschüre des Kosmos: Bausteine des Weltalls.

Also auch der Chemiker vermag das Wesen dieser geheimen Kraft nicht näher zu deuten, obgleich er längst die Gesetze ihres Waltens kennt, für jeden Urstoff Atom- und Molekulargewicht berechnet hat und danach diese Elemente in periodische Systeme reiht. Er glaubt auch mit Sicherheit annehmen zu dürfen, daß die Moleküle der meisten dieser Elemente aus zwei Atomen bestehen, daß also in diesem Falle das Molekulargewicht das doppelte des Atomgewichtes des Stoffes betrage usw.

Der Einfachheit halber hat man dabei das Atomgewicht des leichtesten Gases, das man kennt, des Wasserstoffes (H) als Einheit = 1 angenommen. Mit den Atomgewichten der übrigen Elemente bezeichnet man also nur, wieviel mal ein Element schwerer sei, als H. Die Atom- und Molekulargewichte sind also stets relativ zu nehmen unter Bezugnahme auf das leichteste Gas, das Wasserstoffatom, ähnlich, wie man beim Metersystem das Gewicht eines Gegenstandes mit dem Gewicht eines Kubikzentimeters Wasser (= 1 g) vergleicht. Dabei läuft aber leicht eine falsche Vorstellung mit unter. Bei der Aufstellung der Gewichtsskala der Elemente darf man ja nicht aus dem Auge lassen, daß auch das Atomgewicht des Wasserstoffes (= 1) bereits eine Äußerung der Anziehungskraft der Erde ist, somit nicht etwa als Ausgangs-(Null-)Punkt für ein Ordinatensystem gebraucht werden kann, wenn es sich darum handelt, die übrigen Elemente auf eine Ordinatenachse einzureihen. Der Nullpunkt muß höher oder tiefer gefaßt werden, als 1. Aber auch so bliebe die Lage des Nullpunktes stets eine willkürlich angenommene, und sicher bleibt für uns immer nur die Differenz der eruierten Atomgewichte zweier verschieden schwerer Stoffe zueinander.

Auf eines aber macht uns diese Deduktion aufmerksam. Sie erinnert uns wieder daran, daß das Gewicht im Grunde genommen gleich ist dem Zug oder Druck, den eine Kraft in einer ganz bestimmten Richtung ausübt, nämlich in der Richtung der Vertikallinie nach dem Erdmittelpunkte hin, und daß sich diese Kraft in Bewegung umsetzen würde, sobald sie nicht durch irgendeine andere Kraft oder durch einen Widerstand daran gehindert ist.

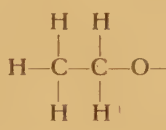
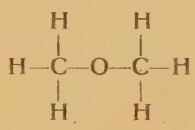
Aber wenn auch die Äußerung der Schwerkraft auf irgendeinen Körper — sagen wir auf ein Atom — als Druck oder Bewegung in der Richtung der Vertikallinie bekannt ist, so wissen wir damit immer noch nicht, nach welcher Seite der Vertikalen hin Druck oder Bewegung erfolgen, mit anderen Worten, ob der Körper steigt oder fällt. Das hängt vom Verhältnis des eigenen Gewichtes zu demjenigen des ihn umgebenden Mediums ab. So fällt ein mit Sauerstoff gefüllter Ballon in einer Wasserstoffgasatmosphäre nach unten, steigt aber in der schweren Chlorgasatmosphäre nach oben.

Diese Erwägung führt uns nach der Theorie der statischen Gleichgewichtslage zu ganz neuen Vorstellungen über die gegenseitige Lagerung der Atome im Molekül. Diese Lagerung ist durch das Atomgewicht genau bestimmt, muß es sein, da die schwereren Atome im Molekül in der Richtungslinie der Schwerkraft tiefer stehen müssen als die leichteren (s. auch Exp. III). Jedenfalls erhält man im Atomgewicht ein Orientierungsprinzip, das durchgreifend ist. Wir können so der mit großem Scharfsinn vom Chemiker aufgebauten, aber immer willkürlich angenommenen stereochemischen Systeme damit gänzlich entbehren, die bis dahin hierauf keinerlei Rücksicht genommen haben. Wir stellen also den Satz auf:

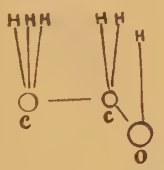
Die Molekularstruktur ist gegeben durch die Differenz der Atomgewichte der das Molekül bildenden Atome in ihrer gegenseitigen Lagerung an die Schwergewichtslinie. L.S.110.

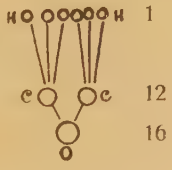
Zur Erläuterung dieses Satzes benutzen wir die Beispiele, die A. ZART l. c., S. 46/49 anführt:

An Stelle von C_2H_6O:

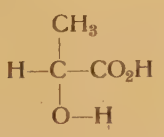
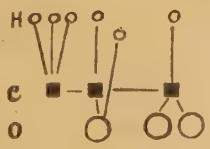
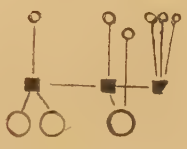
1)  oder 

setzen wir die neuen graphischen Darstellungen:

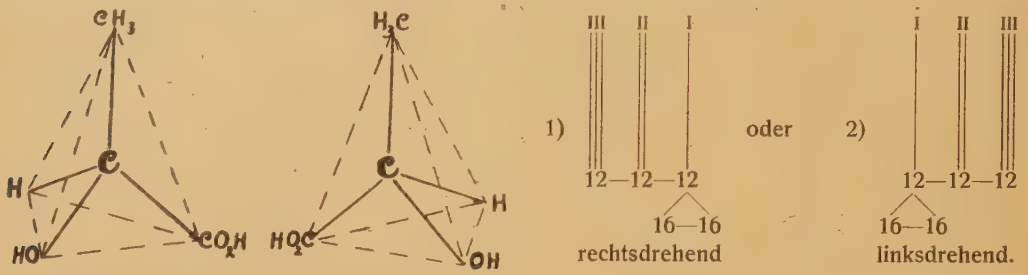




oder für das Milchsäuremolekül:

 = 1)  oder 2) 

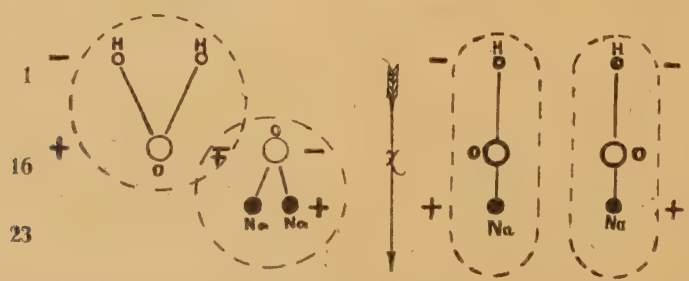
wobei das eine Molekül rechtsdrehend, das andere linksdrehend ist. Einfacher noch könnte man beispielsweise die Raumformel des Moleküls der Propionssäure wiedergeben, indem man die Elemente nur durch die Angabe der Atomgewichte bezeichnet.



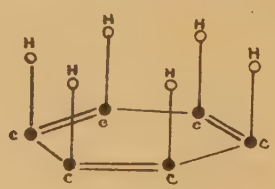
Indem wir so die Atome als Gaskugeln betrachten, die je nach ihrem Atomgewicht relativ höher oder tiefer schweben, erhält man nach dieser Darstellungsweise sofort einen Einblick in den Gleichgewichtszustand und die Statik des Moleküls, ohne daß dabei irgendeiner Theorie der modernen Chemie nur im geringsten zu nahe getreten würde. Und wenn J. H. van t'HOFF noch 1899 schreiben mußte: „Die moderne chemische Theorie hat zwei schwache Punkte. Sie spricht sich weder über die relative Stellung, welche die Atome im Moleküle einnehmen, noch über deren Bewegungsakt aus" (F. HENRICH, Theorie der organischen Chemie, 1918, S. 21), — sollte nicht gerade in der Anordnung der Atome nach dem Atomgewicht nicht nur ein leicht zu handhabendes Ordnungsprinzip, sondern auch zugleich die kausale Begründung desselben gefunden sein? —

Auch der chemische Prozeß läßt sich auf diese Weise viel anschaulicher darstellen, indem zugleich auch der gegenseitige elektrische Zustand (−, +) in seiner Relativität in der Reihenordnung der Elemente zum Ausdruck gelangt, wie die Darstellung folgender chemischen einfachen Gleichung beweist:

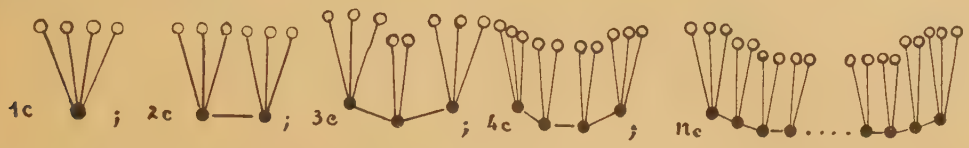
$$Na_2O + H_2O = 2NaOH$$



Für den „flächenzentrierten" Benzolkern ergibt sich demnach folgende Konstruktions- und Darstellungsmanier aus der Perspektive dargestellt:



Die Struktur und Statik der verschiedenen Kohlenwasserstoffe, denen bekanntermaßen die allgemeine Formel C_nH_{2n+2} zukommt, macht sich nach folgenden anschaulichen Bildern:

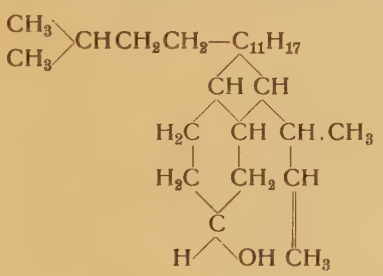


Da sich fast von selber ergibt, daß ein C-Atom, das von drei H-Atomen in die Höhe gezogen wird, mehr steigt, als ein solches, an dem nur zwei Atome H ziehen, biegt sich die Reihe der C-Atome an den Enden der Kette wieder ab bis Gleichgewicht hergestellt ist. Je länger die C-Kette wird, um so stabiler ist sie, und daraus erklärt sich wohl auch der Umstand, daß die Kohlenstoffe mit zunehmender C-Zahl auch in der Konsistenz fester werden.

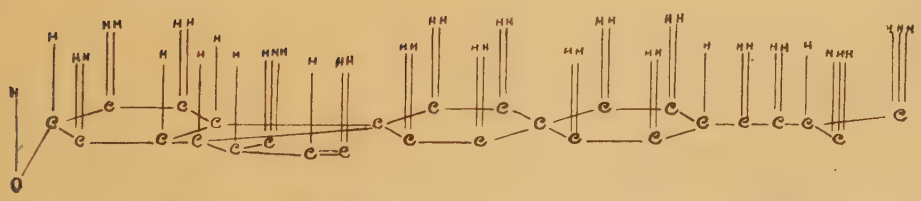
So kann unsere neue Ballontheorie, wenn auch wesentlich modifiziert, selbst für die chemische Wissenschaft neue Vorstellungen zeitigen, und wir sind überzeugt, daß sich die Gesetze über Gasdruck usw. danach weit einfacher überblicken und erklären lassen, als dies bis anhin der Fall war. Selbst für die Erklärung der Spannungsverhältnisse unter den einzelnen Atomen im Molekül selber wird man damit leichter zum Ziele kommen, indem die neue Theorie nicht nur den Überblick über die Vorgänge erleichtert, sondern sie auch geradezu kausal zu begründen imstande sein kann.

Fassen wir zum Schlusse auch noch einen komplizierter gebauten chemischen Körper der organischen Substanz, z.B. Cholestearin $C_{27}H_{46}O$, nach der neuen Darstellungsweise ins Auge.

An Stelle von:



setzen wir



Ich glaube nicht, daß die Übersichtlichkeit der Konstitution darunter leidet, sie wird im Gegenteil nur gewinnen können.

Doch kehren wir nach diesem Exkurs zur Hauptfrage zurück: — Was haben wir beim Molekül als äußere *(N)*, was als innere Kräfte *(M)* zu bezeichnen? — Diese Frage müßte in den Vordergrund gestellt werden und will zuerst beantwortet sein, wenn man beginnen wollte, z. B. die van t'HOFFschen Gasgesetze kausal zu erläutern. Das Endresultat dieser Untersuchung soll dann lauten: $M = N$ als Grundgesetz jeder anorganischen Substanz; denn auf diesem Gleichgewichtssystem beruht die Existenz des Mole-

küls. Daß wir äußern Druck und Schwerkraft hierbei als äußere dynamische Faktoren *(N)* anzusehen haben, scheint mir außer Zweifel zu sein. Anders verhält es sich mit der Temperatur.

Da alle anorganischen Stoffe, vorab die Metalle im Gegensatz zu den organischen, als homogene Körper gleichmäßige und relativ gute Wärmeleiter sind, nehmen sie die Temperatur der Außenwelt auch sehr rasch an. Diese wird dadurch zu einem Faktor der innern molekulären Kräfte, und da nach allgemeiner neuerer Anschauung die Wärme nicht nur die Moleküle, sondern auch die Atome in vermehrte Bewegung setzt, hat man zu eruieren, welche Erscheinungen eine vermehrte Wärmezufuhr in der Konstitution der Moleküle hervorruft, und wie sich der statische Ausgleich mit den mechanischen äußeren Faktoren im Molekül vollzieht. Schon eine stärkere Stoßbewegung der Atome vermag die Verbindung derselben unter sich zu lockern. Wir stellen uns dabei wieder die einzelnen Atome im Molekül am besten als kleine gasgefüllte Ballons vor, die mit anderen Atomen durch feinste Schnüre verbunden sind. Die Bewegung des einen wirkt im Molekül selber auf das andere, gleich wie eine äußere Kraft, und wir sehen dabei im Geiste vor uns den Ballonverkäufer am Kirchweihfest, wie er plötzlich mit seinem Ballonbündel vom Windsturm erfaßt wird.

Bei der Erforschung der Kalorienwirkung kommen nun vor allem die kritische Temperatur, Schmelz- und Siedepunkt in Betracht, da hier nicht nur eine zusammenziehende oder ausdehnende Formveränderung des Stoffes in Frage kommt, sondern zugleich eine wesentliche durch Übergang derselben in einen anderen Aggregatzustand. Auch diese Frage scheint mir nun der Lösung zugänglicher zu sein besonders dadurch, daß ein zweiter leitender Satz uns zu Hilfe kommt: Die Lehre von der Selbstregulierung von Kraft und Form. Die innere Festigkeit nimmt dabei vom festen zum gasförmigen Zustand immer mehr ab. Die Moleküle wie die Atome werden mit zunehmender innerer Wärme des Stoffes lebendiger, d. h. aktiv tätiger auf Kosten ihrer inneren Festigkeit. Sie vermögen daher den äußeren Druck wie die Schwerkraft leichter zu überwinden.

Und um auch die größeren Konstruktionsanlagen des anorganischen Stoffes zu streifen, ich meine: die Kristallisation — sollte die neue Darstellung des molekulären Baues nicht zugleich auch die neue Richtkraft erklären, die O. LEHMANN für die Erklärung der Entstehung der verschiedenen Kristallformen noch für nötig hielt? —

Das Zurückgreifen unserer formanalytischen, stato-mechanischen Untersuchung vom menschlichen Beckenring zur Molekularkonstruktion des toten Stoffes wird auch das Verständnis über den Aufbau jeder stofflichen Materie erleichtern.

Einheitliche Grundprinzipien in diesem Aufbau der anorganischen wie organischen Substanz sind dabei zutage getreten. Sie stützen sich auf das Zusammenwirken innerer und äußerer Kräfte des toten wie des lebenden Individuums. Die „Form" erscheint dabei als das bestimmte Resultat einer mechanischen Gleichgewichtslage im Austausch dieser Kräfte, als das Ergebnis einer Aktion und Reaktion in dem umgrenzten Stoffindividuum, dem nur unter bestimmten äußeren Verhältnissen auch eine bestimmte Lebensfunktion zukommt.

Da die Grenzen der Lebensfähigkeit aber für die Stoffarten verschieden sind, so variiert auch die physiologische Lebensbreite sehr und nimmt beim Übergang vom anorganischen zum organischen Stoff beständig ab. Unter den äußeren Kräften spielt die richtende Schwerkraft, weil kontinuierlich und stets in ein und derselben Richtung angreifend, die Hauptrolle für die Formgestaltung des heterogenen lebenden Individuums. Gleichgewichtslage der einzelnen Teile desselben unter sich gibt ihm seine innere Festigkeit, die innere Widerstandskraft dieser äußeren Richtkraft gegenüber.

Je stabiler die innere Gleichgewichtslage, je unveränderlicher die gegenseitige Lage der Atome im Moleküle, um so größer auch die Festigkeit des Stoffes, um so geringer dagegen die Verschiebungsmöglichkeit der Moleküle gegeneinander, um so geringer also die Elastizität und Variabilität.

Beim homogen gebauten Stoff ist die Dehnung für jede Stoffart konstant, während die seitliche Biegungsfestigkeit von der Form und von der Entfernung der gegenseitigen Stützpunkte abhängig ist. Je nach der Angriffsrichtung der äußeren Kräfte und der Gestalt des Individuums ist daher auch der von der letztern zu leistende Widerstand ein verschiedener. Die Summe der innern Kräfte aber (Festigkeit + Elastizität) muß für jeden Stoff konstant sein; denn sie ist bedingt durch die Artspezifität der Zusammensetzung und des daraus hervorgehenden stabileren oder labileren Gleichgewichtszustandes des Stoffes. Leichtere Störungen dieses Gleichgewichtszustandes durch äußere Kräfte verändern wohl die Form, stärkere Gewaltseinwirkungen bedrohen die Existenz des Individuums.

Aufstapelung von Energien in der anorganischen und organischen Substanz ist nur da möglich, wo geeignete Reservoire und Isoliervorrichtungen das Weiterleiten der Energie verhindern, und so die kinetische Energie in die potentielle Form überleiten. Umsetzung dieser potentiellen Energie in Arbeit kann aber umgekehrt nur mittelst geeigneter einfacher Maschinen erfolgen, die in der Stofforganisation vorhanden sein müssen. Im homogen gebauten anorganischen Stoff ist eine solche Organisation fast so gut wie ausgeschlossen. In der heterogen zusammengesetzten organischen Substanz dagegen ergibt sich diese organisatorische Anlage von selber (Selbstorganisation des pflanzlichen und tierischen Individuums). Sie erfolgt spontan und autopragmatisch zufolge der verschiedengradigen, ja selbst verschiedenartigen Reaktionsweise der einzelnen Teile der Substanz auf die Einwirkung ein und derselben äußeren Energieform hin.

Doch lassen wir hier zum Schluß eine

Charakteristik des Baumaterials

nach seiner inneren allgemeinen Konstitution und Konstruktion folgen, wie sie sich nach unseren Betrachtungen aus den drei Naturreichen ergibt, um die *Evolution der Substanz* in großen Zügen richtig würdigen und überblicken zu können.

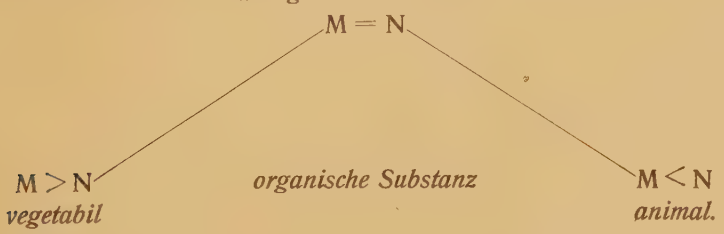
I. *Mineralreich.*
Anorganischer Stoff.

Der Individualitätsbegriff liegt im Molekül. Der Stoff zeigt große Stabilität bei gleichmäßiger homogener Zusammensetzung; daher geringe Elastizität. Jedes Molekül ist souverän. Gleichmäßig gute innere Leitung für alle äußern Energieformen.

Innerer Widerstand $\underline{M = N}$ äußere Kraft.

Kraft und Widerstand sind Eins.

Bei Veränderung dieses statischen Gleichgewichtsverhältnisses geht die *anorganische Substanz* über in die



Die *organische Substanz* ist von ungleichmäßiger (heterogener) Beschaffenheit. Der Individualitätsbegriff ist daher weiter begrenzt, als beim anorganischen Stoff.

Die Heterogenität des Stoffes führt infolge der ungleichmäßigen Reaktionsfähigkeit seiner Teilchen notgedrungen von selber zur Arbeitsteilung, zur Ausscheidung der Funktionen und damit zur Anlage spezifisch funktionierender Organsysteme. Mechanische, thermische, elektrische Energieformen, die von außen her einwirken, werden so ungleichmäßig in der Substanz geleitet und können potenziert werden. Aufstapelung von mechanischer Kraft (Spannung), Wärme und Elektrizität wird auf diese Weise möglich.

Charakteristisch in quantitativer und qualitativer Zusammensetzung ist das für die Art spezifisch gebaute Art-Protoplasma; individuelle Schwankungen dieser Zusammensetzung sind innerhalb relativ enger Grenzen vorhanden.

II. *Pflanzenreich.*

Vererbt wird die im Laufe der Zeit vom Art-Protoplasma erworbene chemisch-physikalische Potenz als Summe der in bestimmter Reihenfolge erworbenen und aus soundso vielen Korrelationen mit den Kräften der Außenwelt hervorgegangenen Ausgleichsresultate. Ebenso werden individuelle Abweichungen als familiäre Merkmale erblich übertragen und inhaftiert. Vererbung größerer Schwankungen in der Zusammensetzung, die den Art-Quotienten verändern, führen zur Entstehung einer neuen Art.

Der Individualitätsbegriff liegt in der Zelle mit Zellmembran oder in Zellkomplexen.

Die osmotische Kraft ist größer als der äußere Widerstand oder Gegendruck; $M > N$.

Aktives Wachstum durch osmotische Schwellung und Zellteilung; passive Veränderung durch äußere Kraft infolge Zunahme der Elastizitätsfähigkeit auf Kosten der Festigkeit.

III. *Tierreich.*

Der Individualitätsbegriff liegt im frei beweglichen Ballon (inkl. der in- oder außerhalb desselben gelagerten Zentralnervenanlage). Die Körpersubstanz (Ballonhülle) ist nur noch mit Hilfe der inneren Belastung dem äußeren Drucke gewachsen; ihre Widerstandskraft ist also kleiner als dieser.

$$M < N.$$

Vermehrte Differenzierung des Stoffes. Die passive Elastizität wird zur aktiven (Kontraktilität) gesteigert durch galvanische Muskelanlagen. Regelmäßige Anordnung von abwechselnd kontraktorischen und versteiften Konstruktionselementen ermöglicht das Ausbalancieren der Form. Durch Veränderung derselben infolge Verlagerung des Gesamtschwerpunktes und Verstemmen der Form gegen die Außenwelt hin ist lokomotorischer Lagewechsel möglich.

V. Der Stammbaum der dynamo-statischen Korrelation und die Grundlagen der Vererbungs- und Anpassungsgesetze.

Die erfolgreichen Studien CLAUDE-BERNARDs über die inneren Druckverhältnisse im Protoplasma niederer und höherer Meerestiere, die Aufdeckung des mathematischen Bauplanes des Menschen nach physikalischen Gesetzen einer inneren und äußeren Belastung mit der trigonometrischen Bestimmung der konstanten Verhältniszahl dieser beiden Kraft-Momente, die Erkenntnis einer Selbstregulierung in Form- und Kraftwechsel endlich nach dem Prinzip des statischen Gleichgewichts der Materie, die sich auch im lebenden Orga-

nismus nach einfachsten Gesetzen der Statik und Dynamik fester, flüssiger und gasförmiger Materie funktionell vollzieht — sie alle lassen den tierischen Körper und seine Lebensäußerungen nunmehr in einem ganz anderen, hellern Lichte erscheinen.

Jede Lebensäußerung des Organismus ist danach als eine Bewegung aufzufassen, d. h. als eine Verschiebung der Teile in ihrer gegenseitigen Lage zueinander, wobei der verschobene Teil stets auf einen relativen Fixpunkt sich stützt. Aus einer solchen Bewegung resultiert entweder nur eine Veränderung der Form, oder aber eine Dislokation des ganzen Organismus, je nachdem dieser Fixpunkt innerhalb oder außerhalb der Form zu suchen ist. Zur Ergründung irgendeiner einzelnen „Lebensfunktion" eines Lebewesens darf daher die ganze Form des Organismus niemals ganz außer acht gelassen werden. Auch ist jede Lebensäußerung desselben stets von einer gewissen Ruhelage des Körpers und seiner Teile aus zu betrachten, von einer statischen Gleichgewichtslage der Form aus, als deren Ergebnis auch die Gestaltung des Ganzen wie der einzelnen Körperteile, die Morphogenese der Organe zu betrachten ist und in die sie in jedem Moment der Bewegung zurückzukehren strebt.

Form, technische Durchbildung und topographische Anlage dieser Organe sind nämlich hervorgegangen als das bleibende Resultat der Wechselwirkung innerer und äußerer Kräfte nach dem Prinzip der Selbststeuerung in Form und Kraft. Sie sind das Ergebnis des funktionellen Anpassungsvermögens einer spezifisch gebauten und daher auch spezifisch valenten und potenten, somit auch spezifisch funktionierenden Substanz mit berechenbarem Widerstandskoeffizienten. Daraus ergibt sich logischerweise als erste Folgerung unter Voraussetzung sich gleich bleibender äußerer Verhältnisse (Medium, Druck und Temperatur usw.) das Erhalten einer für die Art charakteristischen Körperform und der morphologischen Gestaltung ihrer Teile, daraus ergibt sich ferner auch die Proportionierung der ganzen Form und ihrer Teile bzw. ihrer Organe.

So aufgefaßt ist auch der lebende Organismus nichts mehr anderes als ein räumlich umgrenzter Stoff von spezifischer Art-Konstitution, bei welch letzterer alle individuellen und pathologischen Schwankungen in der Zusammensetzung eine meist nur untergeordnete Rolle spielen. Größere Schwankungen in der Konstitution aber, die den Widerstandskoeffizienten des Art-*P* wesentlich und andauernd nach ein und derselben Seite hin verändern, müssen notgedrungen mit der Zeit zur Entstehung einer neuen Art oder zum individuellen Untergange führen, denn das Verhältnis von Widerstand zur äußeren Kraft ist in diesem Falle dauernd ein anderes geworden. Aus unserer Umrechnung der Blattstellungsformeln pflanzlicher Organismen hat sich ergeben, wie außerordentlich klein die Wertdifferenz dieser Widerstandskoeffizienten zweier Art-P. im Grunde genommen sein kann.

Und die Ursache einer solchen Konstitutionsveränderung? —

In letzter Linie ist sie immer wieder auf die äußeren Verhältnisse zurückzuführen d. h. auf die Einwirkung äußerer Energieformen auf die — mechanisch und chemisch genommen — höchst labile und daher auch variable und mutable Masse, auf den heterogen gebauten organischen Stoff. Diesen Eigenschaften allein ist ja die Entstehung des Lebens in der Substanz zu verdanken gewesen infolge der differenzierten Aufnahme, Leitung und Isolierung der einwirkenden äußeren Faktoren, von Energieformen inkl. Schwerkraft in den einzelnen Partikelchen des tierischen Protoplasmas.

Dieselben Eigenschaften des Stoffes aber auch sind es, die in gleicher Weise durch Veränderung der qualitativen wie der quantitativen Zusammensetzung seiner Bestandteile zu verschiedenen Widerstandskoten, zur Entstehung neuer Protoplasmakonstitutionen und somit zur Entstehung neuer Arten führen.

Wie eine solche neue Konstitution zustande kommt, darüber gibt uns der Chemiker genügenden Einblick, wenn er nach gefundenen Naturgesetzen und willkürlich vorgenommenen Dispositionen Atome und Radikale zu Molekülen vereinigt von bisher unbekannten, ja vielleicht noch nie dagewesenen Stoffen. Durch seinen Scharfsinn schafft er so in seiner Retorte durch neue Kombinationen neue Stoffe, indem er auf eine Stammlösung immer wieder neue Stoffe unter den verschiedensten äußeren Bedingungen einwirken läßt. Was hier die Technik künstlich erzeugt, das entsteht selbstverständlich auch in der Natur, sobald dieselben Voraussetzungen für den Ausgleich zweier Stoffkonstitutionen vorhanden sind.

Da nun jedes Art-*P* der organischen Substanz ebenso gut seine bestimmte mechano-chemische Valenz besitzt, wie jeder chemisch synthetisch hergestellte Stoff, so ist es auch vergleichbar mit diesen. Der einzige Unterschied besteht darin, daß der auf Millionen von Jahren von der Natur herangezüchtete organische Stoff ursprünglich schon aus einem Gemisch von hochwertigen (Eiweiß-) Verbindungen hervorgegangen ist, wodurch schon von Anfang an die Möglichkeit einer außerordentlich vielgestaltigen Modifizierung gegeben war.

So stellt jede Protoplasmakonstitution eine Summe von erworbenen Eigenschaften und Fähigkeiten dar, die, vererbt, nichts anders ist, als das Resultat im Ausgleich vorhergegangener Korrelationen. Sie werden in der Ei- und Samenzelle von Generation zu Generation vererbt. Denn jede Zelle ist ein Partikelchen des spezifischen Art-*P* ebenso gut, wie das ganze lebende Individuum selber. Und nach dem Satz der Art-Definition können nur Keimzellen ein und derselben Art sich gegenseitig zu weiterem Wachstum anregen, zu einem Prozeß, der zur art-eignen Differenzierung, zur charakteristischen morphogenetischen Gestaltung und Funktion des neuen Individuums führt und damit zur Erhaltung der Art. Das kann aber immer nur unter der Einwirkung der gleichen äußeren mechanischen und nutritiven Verhältnisse geschehen, die auf das Art-*P* bisher bestimmend eingewirkt haben.

Die rein chemischen, nutritiven Vorgänge im Aufbau der Körperformen haben wir in der vorliegenden Arbeit nur gestreift und dies nur insoweit, als auch hierin das mechanische Prinzip in Frage kam. Wir lassen sie auch hier beiseite, obschon wir der Überzeugung sind, daß sich mit der Zeit auch für diese Seite der Entwicklung der organischen Substanz ebenso gut eine bestimmte Reihenfolge der chemischen Korrelationen und Hauptpositionen nachweisen läßt, wie wir dies in der Folge für die mechanisch-statische Genealogie dartun werden, indem wir versuchen, die zeitliche Aufeinanderfolge der im Laufe der Zeiten von Geschlecht zu Geschlecht, von Art zu Art erworbenen und vererbten Resultate der mechano-statischen Stufen der Entwicklung festzulegen, wie sie sich am ursprünglichen Protoplasmaklümpchen des Protozoenleibes aus seinen Reaktionen auf die verschiedenen mechanischen Aktionen der inneren und äußeren Außenwelt notwendigerweise ergeben haben müssen.

Als erste *I* Korrelation, in der sich jede Materie mit ihrer Außenwelt zu setzen hat, ist ihre Beziehung zum Raum. Dem unermeßlichen Raum gegenüber bequemt sie sich zur Innehaltung derjenigen Form, die den geringsten Raum beansprucht, zur Kugelform. Dieser Satz gilt ebenso gut, wie für die Himmelskörper, den Wassertropfen, das flüßige Metall, so auch für das Protoplasma des pflanzlichen und tierischen Organismus. In dieser einfachsten Formgestaltung findet sich auch das einfachste Lebewesen in seinem statischen Gleichgewicht: Es ist der ruhende Kontraktionszustand der Amöbe, wie die Grundform der Eizelle und jeder pflanzlichen und tierischen Zelle überhaupt Veränderungen in diesem Ruhestand der organischen Substanz sind stets auf die Einwirkung äußerer Energieformen zurückzuführen.

Als (heterogen gebaute) Teilsubstanz der irdischen Materie freilich ist zunächst auch die Urform des Urorganismus (Protoplasma) als eine unförmige plastische Masse mit Kern zu denken, die sich dann nachträglich durch Kräfteeinwirkung formt und ordnet. Im Wasser wird sie infolge zentrisch wirkender Kräfte zur Kugelform mit zentraler Lage des Nukleus (Öltropfen im Wasser). Infolge der zentrisch wirkenden Kräfte bilden sich sodann in der Kugel druckfähige Kugelschalen (äußere Verdichtung bei den Ektoskleren, innere Verdichtung bei den Endoskleren).

Die ursprünglich vorhandene Kugelform der lebenden Substanz muß daher zum Ausgangspunkt der phylogenetischen wie der ontogenetischen Entwicklungsformen werden, und zwar müssen sich alle Hauptpositionen der beiden Reihen schon logischerweise und wie wir das auch tatsächlich für die Endglieder derselben in Fig. 125 bereits festgestellt haben, in ihrer zeitlichen Folge decken (biogenetisches Grundgesetz).

Dabei muß jede Positionsform das Ergebnis sein, das aus der Aktion und Reaktion zweier mechanischer Faktoren hervorgeht, wobei die Reaktion der spezifisch gebauten organischen Substanz auf eine bestimmte Aktion von Seite ihrer inneren oder äußeren Außenwelt hin erfolgt. Der Organismus behält zu Beginn der neuen Korrelation die ererbte Valenz, d. h. sein spezifisches Art-*P*, Form und Organisation der nächst vorhergehenden Generationsstufe bei; verändert ist nur der andere, äußere Kontrahent: Medium, Druck, Temperatur, Nahrung usw. Auf die dadurch veränderte äußere Aktion reagiert aber der Organismus in ganz bestimmter Weise. Und als Ausgleich von Aktion und Reaktion erscheint die neue Form als erworbenes Charakteristikum der neu entstandenen Art.

Daraus geht hervor, daß in der Keimzelle schon die Summe der chemo-mechanischen Valenzen aller vorhergehender Geschlechter ererbtermaßen enthalten ist und daß die in der Phylogenese der Art erworbenen Positionen auch in der ontogenetischen Entwicklung des Art-Individuums, wenn auch nur flüchtig und vorübergehend, so doch sicher in derselben Reihenfolge sich zeigen müssen. (Fig. 125.)

Doch kehren wir zur Stammeswurzel der mechanischen Entwicklungslehre, zur Kugelform zurück! —

Stets in diesem Gleichgewichtszustand verharrend erschiene auch die lebensfähigste Substanz tot — sie zeigt kein Leben. Ihre Oberflächenspannung ist überall die gleiche.

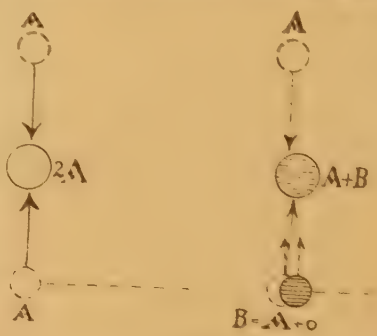
Die erste und einfachste Lebenserscheinung nun ist die osmotische Aufnahme von Flüssigkeit, die selbst durch eine vorhandene membranartige Umhüllung der Substanz hindurch erfolgt und zur Volumvergrößerung der Kugelgestalt wie zur Steigerung des inneren Druckes führt. Ist die Substanz der Kugel homogen, so hat dieser diosmotische Akt keinerlei weitere mechanische Erscheinungen zur Folge, als eine Volumzunahme, vorausgesetzt, daß auch das äußere Medium immer ein und dasselbe sei. Anders aber, sobald einmal ein Zellkern vorhanden ist, und sich auch das äußere Medium in seiner mechanischen Reizwirkung in der Umgebung der organischen Kugel ungleichmäßig gestaltet. In diesen Fällen kommt es zu ungleichmäßigen Spannungen an der Oberfläche der Kugel und damit wird die Kugelmasse in ihrem Gleichgewicht gestört. Es kommt zu Ausbuchtungen der Form, zu Gestaltsveränderungen, also zu wirklichen „Lebenserscheinungen". Einziehungen dieser Ausbuchtungen oder „Pseudopodien" sind immer wieder ein Zurückkehren zur Gleichgewichtslage, zur Kugelform, indem sich die bewegte Masse dabei auf den zentralen Fixpunkt, auf den relativ festen Zellkern oder auf einen Fixpunkt der Außenwelt stützen kann, in welch letzterem Fall eine Dislokation des Individuums erfolgt.

Doch damit sind wir bereits bei der zweiten Korrelation angelangt: Materie : Materie, Stoff : Stoff. Drei Möglichkeiten sind dabei gegeben: $A > = < A$.

Die Materie zieht sich gegenseitig an. Das Erkennbare dieser gegenseitigen Anziehungskraft, deren Wesen wir bis jetzt nicht kennen, ist eine Bewegung, die im Sinn der Anziehung sowohl positiv wie negativ sein kann. Oder sie führt auch zur Innehaltung einer bestimmten Entfernung der beiden stofflichen Körper oder einer berechenbaren Laufbahn (Planeten).

A. Dynamische Korrelation.

1. $A = A$. Sind sich beide Stoffe gleich in Maß und Zusammensetzung, so erfolgt die Vereinigung beider im Halbierungspunkte ihrer ursprünglichen Distanz. Beide legen denselben Weg in gleicher Zeit zurück. Aktion Reaktion, Weg m = Weg n; Resultat: Vereinigung von $A + A$ zu $2A$. (Fig. 128.)



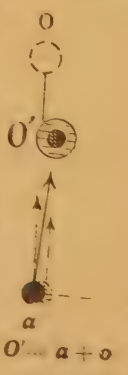
Figur 128.
Massenwirkung der Materie.
A u. A sind quantitativ u. qualitativ gleich.
B u. A sind quantitativ gleich, qualitativ ist B dominierend.
A und A ziehen sich gegenseitig an und vereinigen sich zu 2A.

Soweit unsere Betrachtungen, als sie die Korrelation der stofflichen Materie im allgemeinen betreffen! —

Nun ist aber der Stoff in seiner mechano-chemischen Zusammensetzung und Valenz unter sich meist verschieden. Insbesondere ist dies der Fall bei der organischen und speziell bei der animalen Substanz, die hier nur allein auf ihre mechanische Reaktionsweise geprüft und ins Auge gefaßt werden soll.

Das animale Individuum vermag man sich nur in Verbindung, d. h. in mechanischer Korrelation mit seiner Mutter Erde zu denken. Es bleibt, — ob groß oder klein — stets nur ein verschwindend kleiner Körper im Vergleich zu jener. — Freilich ist auch der Erdball nicht als ein unteilbares Ganzes aufzufassen, da sich kleinere Moleküle wie größere Partien von demselben losmachen und gesondert dem Organismus gegenübertreten können (Atmungsluft, Nahrung).

So sehr das organische Individuum quantitativ im Nachteil ist — dieser Nachteil wird nahezu aufgehoben durch überragende Qualität in der Zusammensetzung — sowie durch die große Labilität seiner Moleküle, die durch Arbeitsteilung und die daraus resultierende Selbstorganisation eine vermehrte Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung aller äußeren Energieformen zuläßt.



Figur 129.

Das ergibt sich sofort, sobald wir die Betrachtung über die mechanischen Korrelationen zunächst noch ganz allgemein gehalten fortsetzen und uns dabei nur vorstellen, daß der eine der beiden Kontrahenten (o), ein organischer Körper sei, d. h. ein solcher, der in seiner Zusammensetzung ein qualitatives Plus seinem Partner gegenüber enthält, wenn auch die Quantitäten sich das Gleichgewicht halten mögen.

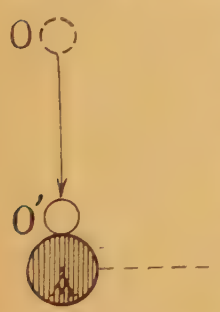
Ist $a = O$, $O = a + o$, so kommt das Plus von O nach erfolgter Vereinigung auch dem neu entstandenen Körper zugute, was graphisch etwa folgendermaßen (Fig. 129) dargestellt werden kann. O' ist heterogen geworden und steht in einer höheren Position als sie die beiden Komponenten a und O vor ihrer Vereinigung innehatten.

In weiterer Korrelationsstellung des organischen *O* zu seiner Außenwelt *A* sind nun nur noch zwei Möglichkeiten gegeben: 1. $A > O$; 2. $A < O$. In beiden Fällen wird der kleinere Körper von dem größeren angezogen. Da wir unter *O* jetzt immer die organische Substanz verstanden wissen wollen, so können unter *A* in der Korrelation $A < O$ nur kleinere Moleküle, losgelöste Partikelchen des Weltalls in Frage kommen (Kontenta, Nahrung, Atmungsluft, Lösungen).

2. $O > A$. Bei dieser letzteren Möglichkeit $O > A$ wird das kleinere Molekül *A* der Außenwelt mehr gegen den Organismus *O* hinbewegt als *O* gegen *A*. Dieser Vorgang tritt bei der Osmose in die Erscheinung, indem die Anziehungskraft des Organismus stärker ist, als beispielsweise ein Tropfen einer gesättigten Lösung sie besitzt. Die Valenz von *O* wird durch die Aufnahme von *A* quantitativ und qualitativ gehoben. Dieser Korrelationsvorgang kann als der „vegetative" bezeichnet werden. — Als Reaktionsvorgang wäre die Verdunstung aufzufassen, d. h. der Austritt von Wasser aus *O* unter Hinterlassung der vorher in *A* gelösten Stoffe.

B. Statische Korrelation.

3. $O < A$. Attraktion von *O* durch *A*. (Tellurische Attraktion oder Schwerkraft). Da die letztere ungemein viel größer ist, als die Attraktionskraft von *O*, wird *O* an *A* festgehalten und hat Mühe, seine Kugelform beizubehalten. Es erfolgt ein Ausgleich der Kräfte auf reaktivem Wege durch innere oder äußere Versteifung und Ausbalancieren der Form.



Figur 130.
Massenwirkung von *A* auf *O*.
Attraktion von *O* durch *A*. Festhalten von *O* in *O'* (Tellurische Attraktion).

In den beiden letzten Korrelationsvorgängen Figur 129 und 130 sind die Grundzüge in Bau- und Lebensprinzip des pflanzlichen und tierischen Protoplasmas bereits niedergelegt. Sie geben die Erklärung für die Quellerscheinungen des Samenkornes, wie für das Wachstum der Tanne in der Pflanzenwelt einer- und anderseits für die mechano-statischen Vorgänge, Statik wie Lokomotion im Tierreich, von den Protozoen bis zum aufrecht pendelnden Menschen hinauf.

Den *genealogischen Stammbaum der Tierwelt* einmal auch vom mechanistischen Standpunkt aus zu verfolgen wird daher nicht ohne Interesse sein. Wenn auch hier nur die Hauptpositionen berührt werden können, so geben sie doch in ihrer Reihenfolge zugleich die Kausalmomente der ererbten wie der erworbenen Formgestaltung der Individuen in den verschiedenen Tierkreisen an und damit die *Begründung einer rein mechanistischen Weltanschauung*. Das biogenetische Grundgesetz wird kausal erklärt, indem jeder Generation als Erbgut die Summe der Valenzen zukommt, die sich im Protoplasma ihrer Ahnenreihe von Position zu Position aus der mechanischen Korrelation mit den Energien der innern und äußeren Außenwelt reaktiv entwickelt haben.

Die mechanische Stufenleiter der Form. (Hierzu Tafel XXI).

Vererbung und Weiterformung der organischen Substanz aus mechanischen Einflüssen.

Als Urform des tierischen Organismus haben wir uns ein nacktes heterogen gebautes, kernhaltiges Protoplasmaklümpchen gedacht, als eine zunächst noch unförmige wässerig plastische Masse mit Kern, im Wasser schwimmend und sich nachträglich durch Krafteinwirkung formend und ordnend.

Wie Öl in Wasser gegossen, Kugelform annimmt, so nimmt auch infolge zentrisch wirkender Kräfte das Protoplasmaklümpchen im Wasser Kugelform an mit zentraler Lage des Nukleus.

I. Stufe. Kugelform.

Indem der äußere Druck allseitig der gleiche ist, gestaltet sich die plastische Masse zur gleichmäßigsten Form, die zugleich auch den möglichst geringsten Raum beansprucht. Korrelation: Raum : Stoff.

Die Deformationsform des organischen Gebildes hängt nun ab von der Deformierbarkeit seiner einzelnen Bestände (*s, p, n*). Nicht formfähig ist das flüssige Serum (*s*), am meisten für sich formfähig = plastisch oder elastisch ist das körnige Plasma (*p*), während die schwere Nukleusmasse (*n*) in ihrem Plastizitätsvermögen zwischen *s* und *p* die Mitte hält.

II. Stufe. Äußere und innere Verstärkung.

Durch vermehrte Beanspruchung einzelner Stellen dieser Körpersubstanz findet nun im lebenden Organismus eine Verstärkung durch Einlagerung organischer und eventuell nach und nach auch anorganischer Substanzen an diesen Teilen statt (Unterschied zwischen totem und lebendem Organismus). Diese Verstärkung kann stattfinden in der Hülle oder in einem innnern Gerüst durch zentrisch wirkende Kräfte, indem ektosklerale oder endosklerale druckfähige Verdichtungen oder Kugelschalen entstehen: denn bei heterogenem Material findet eben eine Ordnung der gleichartigen Moleküle statt je nach Dichte und Reaktionsfähigkeit derselben und nach rein physikalischen Gesetzen.

Zur Erhaltung des Organismus ist die Gegenwart von geeigneten Stoffen notwendig einmal zum Unterhalt, sodann zur Erzeugung von Kraft und endlich zur Erhaltung der Form.

Die Aufnahme dieser Stoffe erfolgt entweder durch Endosmose (planzlicher Typus) oder durch Aufnahme größerer unverarbeiteter Partikelchen der Außenwelt.

Infolge dieser Aufnahme der Fremdstoffe, was gleichbedeutend ist mit äußern mechanischen Einflüssen, wird die normalerweise im Zentrum sich anordnende dichtere Masse, die Kernsubstanz und die innere Verstärkung, zentrisch ringförmig oder exzentrisch lateral beiseite geschoben. Der erstere Dislokationsmodus der Nukleussubstanz entspricht der ringförmigen Anordnung des zentralen Nervensystems bei den Seesternen.

III. Stufe. Kanalbildung.

Bei äußerer druckfähiger Hülle bedarf es dazu der Eingangs- und Ausgangsöffnung, bei innerem Gerüst wird dieses einseitig beiseite geschoben. Es kommt zur Kanalbildung im Innern des Organismus infolge der differierenden Beweglichkeit der Protoplasmamoleküle (wie beim Streichen des Löffels durch eine Erbsmehlsuppe) zunächst ohne, später mit Wandverdichtung des Kanals.

Durch die Beiseiteschiebung der dichtern Masse und durch das wandernde Gewicht des Fremdkörpers verändert sich der Schwerpunkt des beladenen Organismus, was eine Drehung desselben zur Folge hat, so daß der Schwerpunkt lotrecht über oder unter den Drehpunkt zu liegen kommt. Im allgemeinen herrscht stabiles Gleichgewicht vor, da der schwere Fremdkörper nach unten zu abgestoßen wird.

Infolge des Wanderns des Fremdkörpers (Kontenta) findet eine sukzessive Drehung des Organismus statt, so daß die Gleichgewichtslage herrscht. Hat Kanalbildung stattgefunden, so bleibt die verschobene Lage (zentrisch oder exzentrisch) des Kerns und des innern Traggerüstes bestehen.

Das Verweilen der Kontenta im Körper ist abhängig vom Weg (Kanallänge), innerm Widerstand und chemischer Beeinflussung. Durch die Kontenta kann auch eine Beeinflussung der Körperform in dem Sinne stattfinden, daß bei vermehrter Kohäsion und Adhäsion eine Verlängerung des Schlauches und somit auch des Körpers sich ergibt. Dadurch kann der Schlauch zur Körperachse werden.

IV. Stufe. Verlängerung der Körperachse, theoretisch bis unendlich.

Sie kann zunächst lotrecht oder horizontal liegen je nach dem Aufenthaltsort: im Wasser horizontal oder lotrecht, auf dem Lande ausgesprochen horizontal.

Da im Wasser die äußere Belastung ziemlich konstant und über den Körper gleichmäßig verteilt ist, fällt der Wechsel der innern Belastung mehr ins Gewicht: auf dem Lande dagegen ist der äußere Druck ungleichmäßig und konzentriert von unten her gegen die Längsachse. Der Innendruck von den Kontenta herrührend vermag diesen äußern Druck nur zum Teil auszugleichen. Dies ist nur der Fall, wenn die Unterlage eben ist.

V. Stufe. Segmentierung der Achse. Ring- und Wirbelbildung.

Ist dies nicht der Fall, dann konzentriert sich der Auflagedruck des ganzen Körpers in einem Punkte, sofern wir eine starre äußere Hülle oder ein starres inneres Versteifungsgerüst annehmen. Dabei werden aber bei langem Körper so ungünstige Beanspruchungen hervorgerufen, daß die starre unendliche Achse in gegliederte Teile zerfällt. Ringbildung bei den Ektoskleren und Wirbelbildung bei den Endoskleren. Dasselbe geschieht bei den Wassertieren mit innerem Versteifungsgrat (Lanzettfischchen) infolge der innern Belastung (Knorpel- und Knochenfische).

VI. Stufe. Abschnittsbildung mit Stützen und Trägern.

Indem durch unregelmäßige, das heißt unebene Oberfläche der Außenwelt bei langer Körperachse nur bestimmte Ringglieder resp. Wirbelglieder stärker belastet werden, ergibt sich ein funktioneller Zusammenschluß, wobei die Stützen hier entsprechend stärker ausgebildet werden. Diese Stützen werden zum Träger des Organismus.

VII. Stufe. Ballonbildung halbstarren Systems bei den Endoskleren.

Kopf und Kaudalteile wachsen aus der Rumpfform heraus und werden zum Ausbalancieren benutzt. Bei innerm Versteifungsgerüst, das auf zwei Punkten gestützt ist, hängen die Kontenta am Versteifungsgerüst, wobei die seitlichen Wandungen durch Quergurten versteift sind. Diese Quergurten an den Stützpunkten werden zu Trägern der Drehachsen, von denen die hintere bei höher entwickelten Tieren als Stützpunkt sich entwickelt.

VIII. Stufe. Aufrichtung der ungebrochenen Achse.

Wird die Längsachse im vorderen Teil entlastet, so richtet sie sich um den hintern Stützpunkt auf. Schlagbaummechanik mit Zugstrebe.

IX. Stufe. Aufrichten der gebrochenen Rumpfachse.

Ist die Rumpfachse in einem Punkte vor dem hintern Gürtel druckschwach (Lendenknick beim Menschen), so knickt sie beim Aufrichten hier ab, wobei der vordere Teil der Achse samt Kopf zum pendelnden Balanceur wird. Mechanismus des gebrochenen Schlagbaums. Anthropogenese.

Die Reihenfolge der Entwicklungsstufen ist danach eine gegebene. Sie bleibt sich gleich für die beiden Hauptäste des Tierreiches, für den ektoskleritischen wie für den endoskleritischen Zweig, nur ist der letztere noch einer weiteren (*IX.*) Stufe fähig geworden.

Was in der tierischen Substanz biogenetisch vererbt wird, das ist, mechanistisch ausgedrückt, für jede Entwicklungsstufe die Summe der Formungsresultate, die aus dem Ausgleich äußerer und innerer Kräfte bei allen im Stammbaum vorausgehenden Entwicklungsstufen hervorgegangen sind.

Das Durchwandern der verschiedenen Entwicklungsstufen läßt sich bei vielen Repräsentanten des ektoskleritischen Zweiges, z. B. bei Schmetterlingen und Käfern, an ein und demselben Individuum vom Ei ab durch das Raupen- bzw. Larvenstadium bis zum ausgebildeten Insekt aufs schönste verfolgen.

Das biogenetische Grundgesetz E. HÄCKELs wie die ganze Deszendenzlehre erhalten dadurch ihre innere Begründung. Das *ontogenetische Grundgesetz* O. HERTWIGs aber ist in dem Sinne aufzufassen, daß die im Art-Protoplasma vererbten Eigenschaften der phylogenetischen Vorstufen durch neu hinzukommende Positionen der eigenen Art weiter modifiziert und umgeformt werden.

Damit stehen nicht nur sämtliche im Ersten Teil des Buches am menschlichen Beckenring mit größter mathematischer Sicherheit festgestellten Formverhältnisse in vollem Einklang mit den Resultaten der neuen naturwissenschaftlichen Forschung überhaupt — sie sind vielmehr imstande, ihre Gesetze auch kausal zu begründen und damit der *rein mechanistischen Weltanschauung* einen gesicherten Stützpunkt zu verleihen. —

C. Zusammenfassung und Ausblick.

„In einer Wissenschaft ist soviel wahre Wissenschaft, als sie Mathematik enthält." *Kant.*

Wer auf bisher unbegangenem Wege einen Berggipfel zu erreichen sucht, der hält nach mühevollem Erklimmen der ersten Felswand einen Augenblick inne, wischt sich den Schweiß von der Stirne und überlegt, ob er auf rechtem Pfade sei und ob die ihm zu Gebot stehenden Mittel ausreichen, um weiter vorwärts zu kommen. So ergeht es auch uns. Es möge uns daher am Schlusse unserer Arbeit gestattet sein, noch einen Blick in die Zukunft zu werfen und die Frage zu stellen:

„Sind wir auf richtigem Pfade und was ist das nächste Ziel, auf das wir zustreben müssen?"

Eine solche Orientierung kann für ein ferneres Vorgehen nur ersprießlich sein, auch wenn man all die Schwierigkeiten noch nicht überblicken kann, die uns vom vorgesteckten Ziele trennen.

Auf allen Sondergebieten der biologischen Forschung haben sich in den letzten beiden Jahrzehnten mechanistische Probleme in den Vordergrund des Interesses gedrängt. Der ältern vitalistischen Lebensauffassung ist die kausal-mechanistische in hartem Konkurrenzkampf gegenübergetreten, und allerwärts ist man bestrebt, jede Erscheinung im Lebensgeschehen des Organismus auf rein physikalischem Wege zu begründen und zu erklären. Indem wir der neuen Richtung gefolgt sind, haben wir von hier ab neue Wege einzuschlagen gesucht.

Unser Thema hatte sich in erster Linie die Ergründung der Form, die formliche Gestaltung unseres körperlichen Ichs zum Ziele gesetzt. Fragen wir uns daher: „Sind die neuen Pfade, die wir dabei eingeschlagen, den bisher begangenen ebenbürtig oder gar vorzuziehen? — Sind sie entwicklungsfähig, und was sind die weitern Konsequenzen, die wir aus den gewonnen Resultaten zu ziehen haben werden?" Das wären die prognostischen Fragen, die hier noch zu beantworten sind.

Als ein neuer gangbarer Pfad ist zweifelsohne die Einführung der darstellenden Geometrie in der Biologie zu bezeichnen, die eine exakte Vermessung der Körperform nach allen drei Raumdimensionen hin ermöglicht.

Erst die trigonometrische Berechnung der Form gibt uns vollkommen wahre Bilder über die wirklichen Größenverhältnisse untereinander, die nicht mehr optisch trügerisch entstellt sind, wie das in sinnfälligster Weise eine Seitenansicht des menschlichen Beckenskelettes im Vergleich mit der orthogonalen Seitenprojektion beweist.

Die dynamischen Verhältnisse werden dadurch in ein wesentlich klareres Licht gestellt, sofern es gelingt, Schwerpunkt und innere wie äußere Stützpunkte der Form in ihrer gegenseitigen Lage klarzulegen.

Dabei sind die wesentlichen, weil primären Teile der ganzen Körperform von den unwesentlichen sekundären wohl zu unterscheiden. Das statisch Gegebene bildet die tierische Rumpfform. Gliedmaßen, Kopf und Hals; Kaudalteile sind — genetisch wie statisch — das Sekundäre in der Körpergestaltung und Körperfunktion und fallen in erster Linie als balancierende Annexe des Rumpfes in Betracht. Darin liegt die verblüffend einfache Lösung manches bisher kompliziert erschienenen rätselhaften Problems der

Formbildung und der Formerhaltung, die uns sodann weitern Aufschluß gibt über die mechanische Funktion.

Die statische Gleichgewichtslage der ganzen Form also muß nunmehr zum Ausgangspunkt aller Untersuchungen gemacht werden. Dazu aber wäre in erster Linie eine völlige Umgestaltung des anatomischen Unterrichtes erforderlich. Und Hand in Hand damit geht auch die Umwälzung unseres physiologischen Denkens. Nicht Kausalanalyse allein, oder gar nur anatomistische Zergliederungskunst und deskriptive Formenlehre sollen in letzter Instanz der Endzweck der kausalmorphologischen Forschung sein, wenn sie auch gewiß als Hilfsfächer unsere Auffassung über das Zustandekommen der Form wesentlich zu läutern vermögen.

Die Möglichkeit, auch die komplexeste Form nicht nur kausalanalytisch zu zerlegen, sondern sie auch aus ihren Formelementen heraus synthetisch aufzubauen — das erst gibt uns die Sicherheit, die Form auch in ihrer Entstehung und Funktion, im physiologischen wie phathologischen Geschehen begreifen und verstehen zu lernen. Jeder weitere Ausbau der Anlage bis zur letzten Ausgestaltung der Morphogenese des formvollendeten Individuums, die man gemeinhin als „funktionelle Anpassung" bezeichnet, ist stets nur das Resultat der generellen Anlage des spezif. Art-*P* und seiner spezif. Reaktionsfähigkeit im Wettspiel der Kräfte innerer und äußerer Belastung (Ballontheorie).

Der anatomischen Zergliederung hat daher die synthetische Zusammensetzung der Form auf dem Fuße zu folgen unter Zugrundelegung einfachster physikalischer Experimente über die „Energetik" und Kinematik der „toten" Materie in Wechselwirkung und Kontakt mit dem elastischen Körpergewebe.

Was wir in erster Linie fordern müssen, ist also eine entwicklungsmechanische Morphologie im weitesten Sinne des Wortes unter Zugrundelegung physikalischen und statischen Experimentes. Dabei kann die weitschichtige philologisch ausgeklügelte Terminologie der Entwicklungsmechanisten als überflüssiger Ballast zum großen Teil über Bord geworfen werden. An ihre Stelle trete immer mehr und mehr die Ausdrucksweise und die Begriffsbezeichnung der Technik und des physikalischen Unterrichts.

Sobald man sich nämlich auf den Begriff der Spezifität eines Artprotoplasmas stützt, hat man eine Materie von ganz bestimmter Valenz und Potenz vor sich, mit der man rechnen kann, wie der Techniker mit den Eigenschaften und der Koeffizienz seines Materials. Auch das biologische Material kann sich unter gegebenen äußern Verhältnissen nur in ganz bestimmter Weise entwickeln. Die technische Anlage der Materie ist durch ihren Widerstandsgrad gegeben. „Nicht spezifisches Wachstum, sondern differenzierte Widerstände" (W. HIS).

So komplex sich nun auch Zusammensetzung, Form und Funktion des tierischen Organismus gestalten mögen, so viel scheint mir durch die Analyse der Form vereinfacht und gesichert worden zu sein:

Wie sich der Aufbau jedes einzelnen Knochens von selber genau nach den Gesetzen technischer Berechnung des Widerstandes der Stoffe gegen Zug-, Druck- und Drehungs-Beanspruchung vollzieht, so ist auch der Rumpf- und Körperbau in seiner Gesamtheit das funktionelle Ergebnis aus der innern Festigkeit und Elastizität der Substanz einer-, und ihrer äußern, tellurischen Belastung in weitestem Sinne anderseits. Der Ausgleich mit der wechselnden äußern Belastung aber vollzieht sich im Organismus von selber durch Selbstdifferenzierung und inneres Ausbalancieren der Widerstandskräfte nach dem Gesetz der Selbstregelung in Form- und Kraftwechsel, d. h. nach rein mathematischen Gesetzen. Stärkere Belastung erfordert größere Widerstandsfestigkeit, Dehnung

und Zug größere Elastizität, bis die Gleichgewichtslage hergestellt ist. Der Ausgleich wird in der Substanz „funktionell" von selber vollzogen, wobei dem in der Biologie vielfach mißbräuchlich für „Tätigkeit" angewandten Ausdruck „Funktion" die rein physikalisch-mathematische Auffassung gewahrt bleibt im Sinne eines bestimmten Verhältnisses zweier voneinander abhängigen Größen.

Damit ist für die Sicherheit der Forschungsresultate viel gewonnen, denn dieses konstante Verhältnis dient nicht nur, sobald es einmal mathematisch ermittelt ist, zur leichtern Berechnung, sondern auch jeder Zeit zur Kontrolle unserer Resultate auf allen Gebieten der biologischen Forschung.

Daß dabei auch der komplexeste Organismus wieder mehr als Einheit, als Ganzes in Betracht fallen muß, liegt auf der Hand. Jedes zu detaillierte Systematisieren läßt den Einheitsgedanken verkümmern und führt nur zu leicht auf separistische Abwege in der Methodik und theoretischen Erklärung des Gefundenen.

Die Bewertung des menschlichen Organismus als Ballon halbstarren Systems leistet der neuen Forschungsmethode wesentlichen Vorschub. Wir lernen seine innere und äußere Belastung besser verstehen, sobald wir die Rumpfwand in alternierender Reihenfolge in elastische und versteifte Quergurtensegmente zerlegen. Damit erhält man die nötigen relativen Fixpunkte als Ansatz für die kontraktil-elastischen Wandstücke, wodurch das Verständnis für manche „physiologische Funktion" erleichtert wird. Denn daß sich jede Kraftentfaltung auf einen bestimmten Fixpunkt stützen muß und nur an Hand einer einfachen Maschine denkbar ist, das ist wohl für jeden Physiker selbstverständlich. Warum sollte es für den Biologen nicht ebenso sein? Auch im Erfassen des Lebensgeschehens soll das abstrakte Denken mehr Platz greifen! Ist es doch überall ein und dieselbe Melodie, die nur in verschiedenen Variationen immer wiederklingt.

Diese Harmonielehre hat sich zur Theorie der statischen Gleichgewichtslage der Materie ausgebaut. Sie schließt die Formgestaltung und Formerhaltung eines jeden denkbaren Stoffes in sich, soweit man diesen überblicken und mit unsern Sinnen wahrnehmen kann vom formgesicherten Kristall bis zum kompliziertesten Organismus der Pflanzen- und Tierwelt, vom Atom und Molekül hinweg bis zu den Körpern des Sonnensystems und den sogenannten Fixsternen, die aber offenbar im Weltall auch selbst nur „relative Fixpunkte" sind. Und wenn so „alles im ewigen Wechsel kreist" und nirgends im Weltall ein absoluter Fixpunkt zu erkennen ist, so stützt sich doch dabei ein Atom auf das andere, das ihm in jedem Zeitmoment seine relative Lage sichert. So ist die Existenz eines jeden stofflichen Individuums stets nur in Verbindung mit seiner Außenwelt denkbar. Die „lebende" Materie hat dabei vor der „toten" nur den einen Vorteil voraus, der zugleich wieder ein Nachteil ist: Die größere Beweglichkeit und geringere Stabilität in der Lagerelation seiner elementaren Bestand- und Bauteile.

Die Raumgitterkonstruktion der Elemente und Kristalle, wie sie die neueste Aera der Forschung nachzuweisen imstande ist, — wird sie nicht durch die Theorie der statischen Gleichgewichtslehre erklärt und begründet, ebenso gut, wie die Baukonstruktion des menschlichen Körpers sich dadurch erklären läßt? — Überall dasselbe Gesetz der Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel, hervorgehend aus dem Ausgleich im Zusammenwirken innerer und äußerer Kräfte. Reaktion folgt auf Aktion und als das Resultat des Widerstand leistenden Stoffes erscheint seine neue Form.

Von diesen elementaren Vorstellungen des Biologen werden vielleicht auch die reinen Naturwissenschaften Chemie und Physik, die sich im allgemeinen nur mit den Eigenschaften des stabileren Stoffes beschäftigen, etwelchen Gewinn ziehen. Sie mögen wenig-

stens aus der Biologie die Erkenntnis herübernehmen, wie weit ihre Untersuchungsmethoden trotz aller Errungenschaften ihrer Technik im Grunde noch zurück sind gegenüber dem natürlichen Reaktionsvermögen des Organismus und seiner im Laufe der Zeit durch beständige Übung immer mehr vervollkommneten Sinnesorgane, womit der geübte Kenner beispielsweise Herkommen und Alter eines guten Weines erkennt, während die analytische Untersuchung nur die Quantität des Trockenrückstandes und den Alkoholgehalt des Gemisches festzustellen vermag. Und die feinste chemische Reaktion wird immer noch übertroffen von der Feinheit des tierischen Geruch- und Spürsinns, wofür jeder Naturfreund und Waidmann sofort ein paar Dutzend Beispiele liefern könnte.

Sachgemäß würde also wohl die Theorie der statischen Gleichgewichtslage der Organismen als Inventarstück der Physik einverleibt werden müssen. Sie würde hier, wie ich hoffe, einen bleibenden Bestand haben. Denn alle Beweismittel, deren die Theorie zu ihrer Kräftigung bedarf, entlehnt sie samt und sonders der Physik und Technik und macht dabei die überraschende Entdeckung, daß diese letztere längst schon und vielfach unbewußt sich derselben maschinellen Vorrichtungen bedient hat, wie sie in komplexester Form in der animalen und menschlichen Organisationsanlage durch die Formanalyse zutage tritt. Der Nachweis dieser Anlagen kann gewiß der Technik nur willkommen sein.

Indem damit aber gewissermaßen die ganze Biologie der Physik unterstellt wird, erscheint der lebende Organismus immer mehr als ein natürlich aufgezogenes und daher für eine bestimmte Zeit- (Lebens-) Dauer funktionierendes Uhrwerk von höchst komplizierter Zusammensetzung und Einrichtung. Selbst die gesamte geistige Funktion erklärt sich aus der Aufstapelung, Koordinierung und Wiederverwertung empfangener äußerer Reize (Engramme) in der hierfür spezifisch gebauten Isolieranlage des Zentralnervensystems durch Vermittlung separistisch funktionierender Aufnahme- und Leitungsapparate.

Der lebende Organismus ist sonach in seiner Form und Tätigkeit ein Betrachtungs- und Untersuchungsobjekt des Technikers und Physikers geworden, das sich von seinen einfachen Maschinen nur dadurch unterscheidet, daß das neue Untersuchungsmaterial einen größern Grad von Elastizität und Heterogenität aufweist, als das übrige in der Hand des Technikers gebräuchliche Material. Es wäre daher in seinem eignen wie im Interesse des Biologen wünschenswert, daß die Untersuchungen über diese hervorstechenden Eigenschaften des organischen Stoffes zukünftig auch von physikalischer Seite mehr Berücksichtigung fänden, und daß sie sich namentlich auf die Funktionen erstrecken, die sich auf die Wechselbeziehungen von innerer und äußerer Belastung zu der elastischen Ballonhülle des tierischen Organismus ergeben.

Formanalyse und Ballontheorie bieten uns hierfür wegleitende Ideen. Sie lassen die Widerstandskraft des Organismus gegen äußere und innere Beanspruchung erscheinen als eine Summe von Faktoren: Elastizität + Festigkeit. Die beiden Faktoren stehen zueinander im umgekehrten Verhältnis und ergänzen sich gegenseitig zu einem bestimmten Wert. Das schließt in sich, daß bei den Untersuchungen nicht einseitig vorgegangen werden darf, sondern immer beide Faktoren, Festigkeit und Elastizität gleich zu berücksichtigen sind.

Der vergleichende Hinweis auf den Ballon halbstarren Systems mit heterogen beschaffener Fracht beladen, modifiziert auch zugleich die bisherigen Anschauungen über die Wirkungsweise der Schwerkraft in der Weise, daß diese auch als deformierende Stoßkraft zur Geltung kommt entsprechend den beiden Widerstandsmomenten Festigkeit und Elastizität der Ballonhülle.

Die Proklamatierung des Spezifitätsbegriffes der Art-Substanz und ihres variablen Selbstdifferenzierungsvermögens in physikalisch-chemischer Hinsicht für jede

mineralische, pflanzliche und animale Art muß auf allen Gebieten der Naturwissenschaft endgültig anerkannt werden; dann wird man sich sicher auf dem Boden der Entwicklungsmechanik finden und weiter bewegen können. Das Widerstandsmodul des spezif. Art-*P* wird sich auch überall ebenso leicht feststellen lassen, wie es uns durch die Analyse der menschlichen Körperform auf verschiedenen Wegen gelungen ist. Die CLAUDE BERNARD-schen Versuche, wie die Aufstellung des Stammbaumes in der Vererbungsreihe mechanostatischer Eigenschaften mögen dabei als Wegleitung dienen.

Mit dem Begriff des spezif. Art-*P*, seines spezifischen Gewichtes und Widerstandes gegen die Kräfte der Außenwelt lassen sich auch alle Erscheinungen der greifbaren Welt vereinen. Er bildet die Basis für die Theorien der statischen Gleichwichtslage und ist ebensowohl vereinbar mit der Raumgittertheorie der Kristalle wie mit den Gesetzen über den Aufbau der pflanzlichen Organismen und den Ergebnissen CL. BERNARDs über den Innendruck der Organismen überhaupt.

Durch den Nachweis eines konstanten spezifischen Innendruckes der organischen Substanz wird nicht nur die Erklärung der Tatsachen und die innere Begründung der Theorien gegeben, sondern zugleich auch ein besserer innerer Zusammenhang der Forschung auf den verschiedensten Gebieten der Naturwissenschaft hergestellt.

Was speziell die Zoologie und die vergleichende Anatomie anbetrifft, so wird durch die Lehre der Vererbung der Ausgleichsresultate mechano-statischer Korrelationen in der Konstitution des Art-*P* die Deszendenzlehre wieder neu belebt und intensiver beleuchtet. Für die genauere Betrachtung der Gesamtkörperform und ihrer Veränderungen muß das Aufsuchen genetischer Achsen und ihrer statischen Belastung durch die Einführung der darstellenden Geometrie und Orthogonalprojektion von Bedeutung sein. Daß dabei beispielsweise beim Wirbeltierkreis Form und Lage des Druckbaumes der Rumpfform, die Wirbelsäule als Ganzes und ihr wechselndes Größen- und Lageverhältnis zu den Längs- und Querachsen und ihren Stützpunkten für das Verständnis der funktionellen Veränderungen bei der Lokomotion in erster Linie in Frage kommen, das glaube ich am Schlusse unserer Betrachtungen nicht nochmals wiederholen zu müssen. Das teleologische Zweckmäßigkeitsprinzip aber kann bei dieser Auffassungsweise nicht mehr aufkommen; es wird durch das rein kausale und konditionale Denken vollkommen verdrängt.

Die Auffindung des Bauprinzips, die innere Begründung der Körperproportionen, wie sie sich aus dem Verhältnis Formbildung zu Formerhaltung ergibt, wird insbesondere auch von der darstellenden und bildenden Kunst begrüßt werden, obgleich gerade hier, soweit wenigstens die Bearbeitung des homogenen Materials in Frage steht, die ältere Auffassung nach der Ständertheorie noch am meisten Geltung hätte.

Und nun noch die verschiedenen Disziplinen und Gebiete der praktischen Medizin! —

Auch sie werden ihren Vorteil aus der neuen Lehre ziehen, und dieser Gewinn wird um so größer sein, je mehr sich die Disziplin auf dem Boden der Mechanostatik bewegt.

Am meisten ist das ohne Zweifel bei der Orthopädie der Fall. Für sie scheint mir insbesondere der Nachweis der genetischen Achsenknickung der Form und das Konstruktionsprinzip von Beckenring und Wirbelsäule und ihre balancierende Pendelfunktion beim aufrechten Gang des Menschen grundlegend zu sein. Die Belastungsproben lassen sich nun mit Leichtigkeit experimental durchführen, womit auch die Frage des günstigsten Tragmodus auf diesem Wege gelöst werden kann.

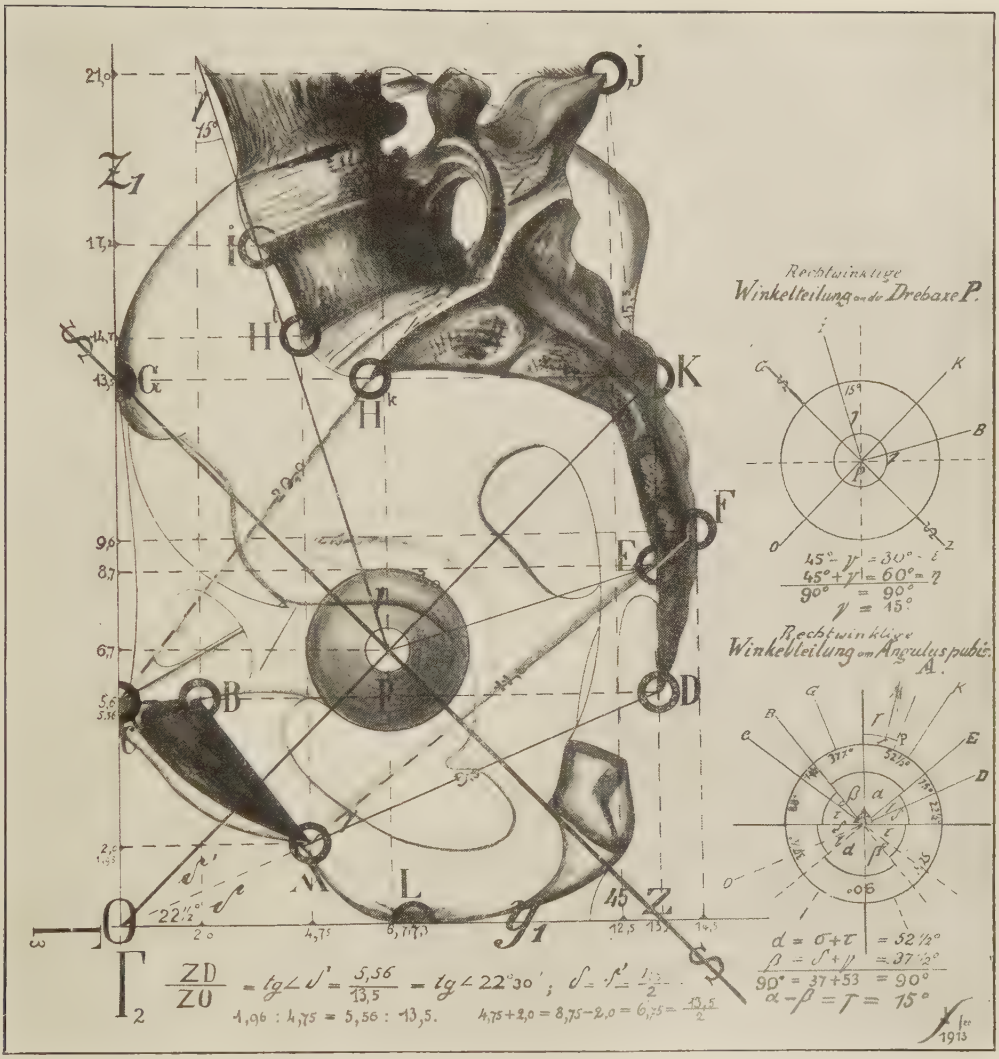
Was die praktischen Erfolge unserer Studie in Gynäkologie und Geburtshilfe anbetrifft, die sich an der effektiv durchgeführten künstlichen Ausweitung des Beckenringes und gynäkologisch-therapeutischen Maßnahmen manifestieren, so ist bereits im Laufe der Arbeit darauf hingewiesen worden. Solche handgreiflichen, kontrollierten praktischen Erfolge legen wohl das beste Zeugnis ab für die Haltbarkeit der theoretischen Unterlagen, auf der sich die Sicherheit des therapeutischen Wissens und Könnens aufbaut.

Was speziell das Verständnis der Beckenform anbetrifft, so ist mit der Durchführung der Kausalanalyse eines normalen männlichen und eines weiblichen Beckenskelettes freilich erst die Norm der beiden Geschlechtstypen des menschlichen Beckens enthüllt und die ursächlichen Momente ihrer Entstehung festgelegt. Dabei finden die individuellen Abweichungen der Form im Rahmen dieses Systems noch reichlich Platz. Anders verhält es sich mit den ausgesprochen pathologischen Beckenformen, die für den praktischen Geburtshelfer von größter Bedeutung sind und die sich zumeist auf eine Verminderung des Widerstandskoefizienten des Beckenrings gegen die äußere Belastung zurückführen lassen, wobei konstitutionelle Leiden des Individuums im Spiele sind, die den Widerstandsindex desselben verringern, bzw. verändern.

Die Entstehungsweise dieser pathologischen Beckenformen, sowie die Wechselwirkung ihrer mechano-dynamischen und statischen Kräfte näher zu verfolgen und die Form beim Weibe auch in vivo schon im Einklang mit unserer neuen Meßmethode diagnostizieren und die dynamischen Momente der Formierung nach der Ballontheorie würdigen zu können, — diese vornehme und dankbare Aufgabe zu lösen, wird sich die praktische Geburtshilfe nun nicht mehr entgehen lassen. Welche Vorteile dabei die Halbierung der Quermaße der Form gewährt, ist aus dem Ersten Teil des Buches leicht ersichtlich; die Durchführung der trigonometrischen Berechnung, wie die Ergründung der Form überhaupt, sind ja nur dadurch möglich geworden.

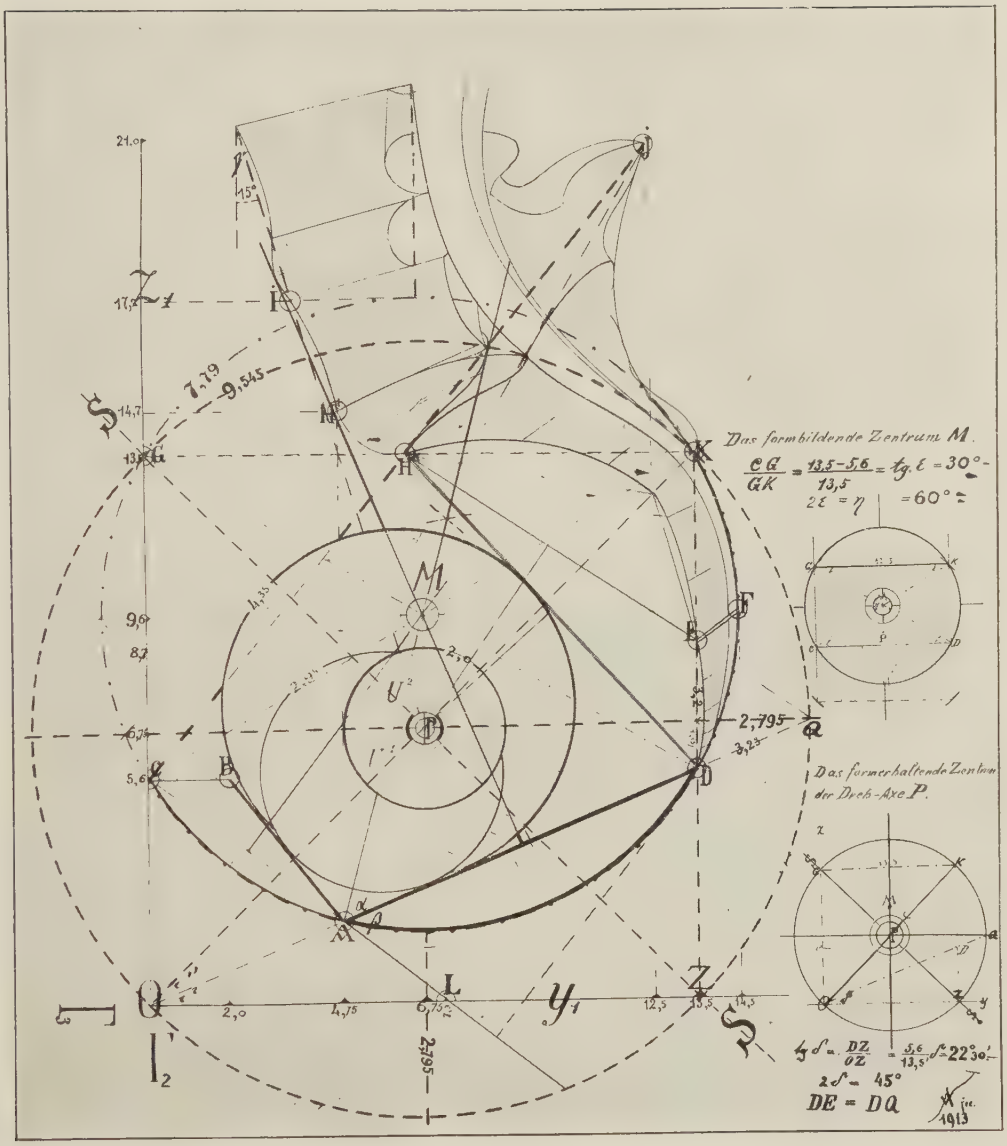
Der vorliegenden Arbeit aber stellen die bereits gewonnenen praktischen Resultate selber ein günstiges Horoskop. Auch die übrigen Gebiete der praktischen Medizin mögen den Einheitsgedanken von Funktion und Form beherzigend in der Anerkennung und Bewertung der einfachen Naturkräfte als den treibenden mechanischen Faktoren wieder mehr Gewicht und Bedeutung beilegen. Gar viele Erscheinungen werden damit eine leichtere, weil gesicherte und klarere Deutung finden, als auf dem Wege der heute noch allzusehr dominierenden, einseitigen Erklärungsweise durch chemisch-toxisch *wirkende Ursachen.*

Ohne ihre Bedeutung, insbesondere diejenige der Hormonen und der Produkte der autosekretorischen Drüsen überhaupt im geringsten herabsetzen zu wollen, mußten diese für die Gestaltungsverhältnisse des höher organisierten tierischen und pflanzlichen Organismus ebenfalls wichtigen Faktoren im Vorstehenden tunlichst beiseite geschoben werden, um so die schaffenden mechano-dynamischen und statischen Kräfte in um so hellerem Lichte strahlen zu lassen. Bildet ja doch die chemische Tätigkeit der gesamten Drüsenorgane im „Pendeln um die chemisch-statische Gleichgewichtslage“ herum nur den einen Faktor der altvitalistischen „Lebenskraft“, die Möglichkeit einer innern Kraftentfaltung ist an die Umsetzungsmöglichkeit der Energieformen in der Materie, an mechanische Arbeitsmaschinen geknüpft, die sich ihrerseits stützt auf die Heterogenität des Stoffes und die ungleiche Reaktionsfähigkeit seiner Teile.



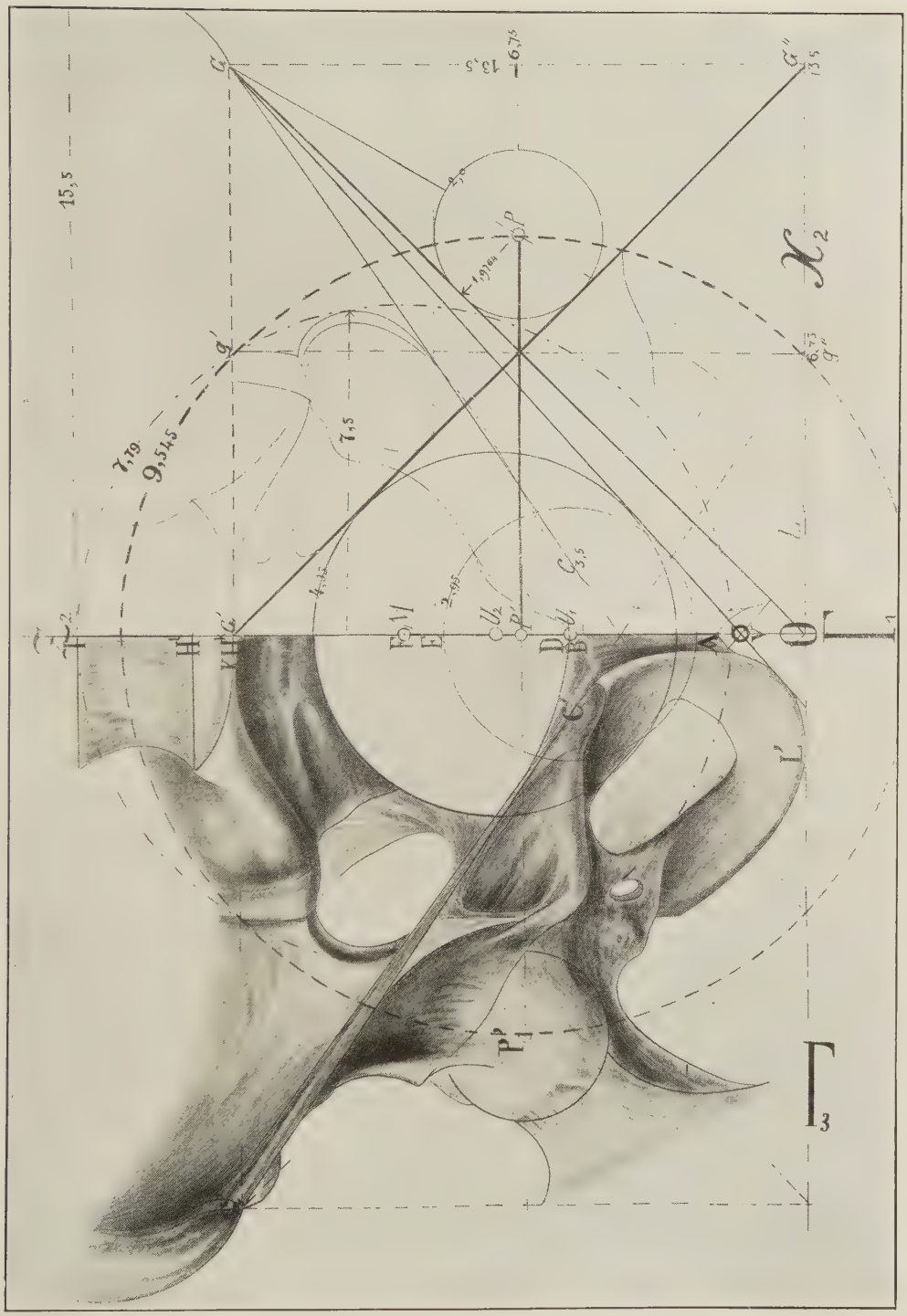
1. Seitliche Orthogonal-Projektion eines männlichen Beckens.

Darstellung der Form auf der Medianebene Γ_1.



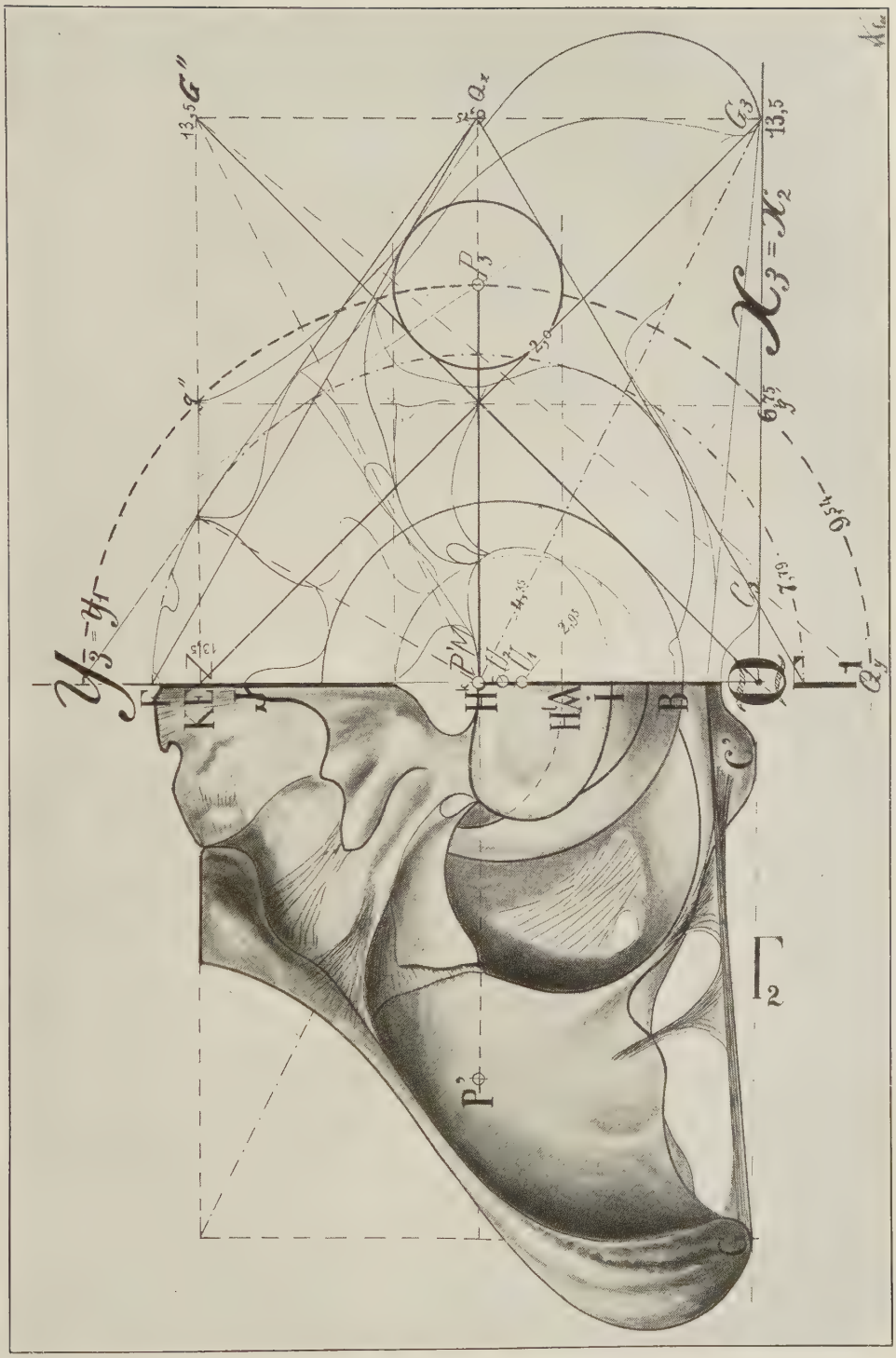
Konstruktion der männlichen Beckenform

auf der Medianebene I_1.



Projektion und Konstruktion auf die frontale Pubo-Spinal-Ebene L_2.

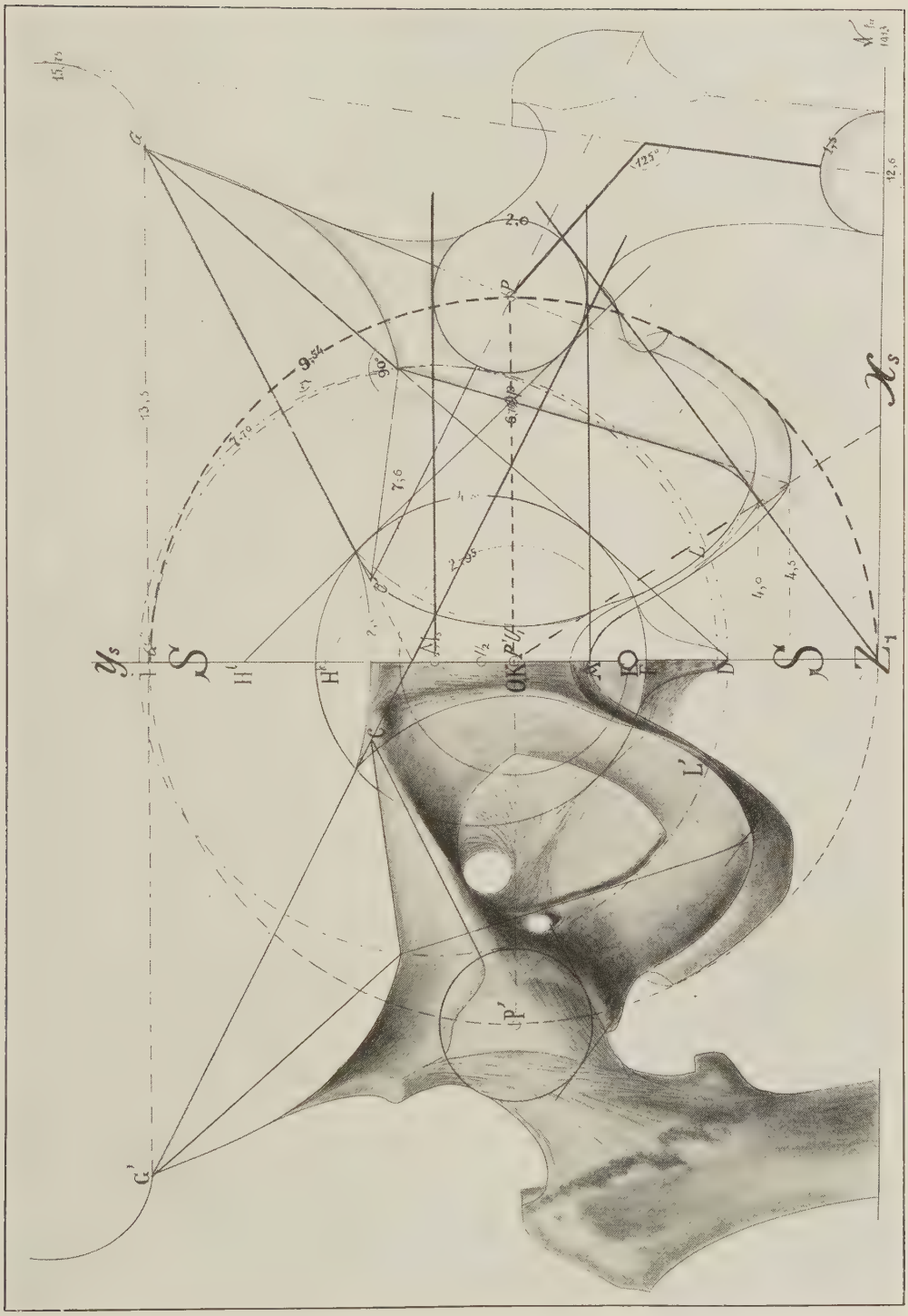
2. Frontalansicht der männlichen Beckenform.



3. Grundriß der männlichen Beckenform.

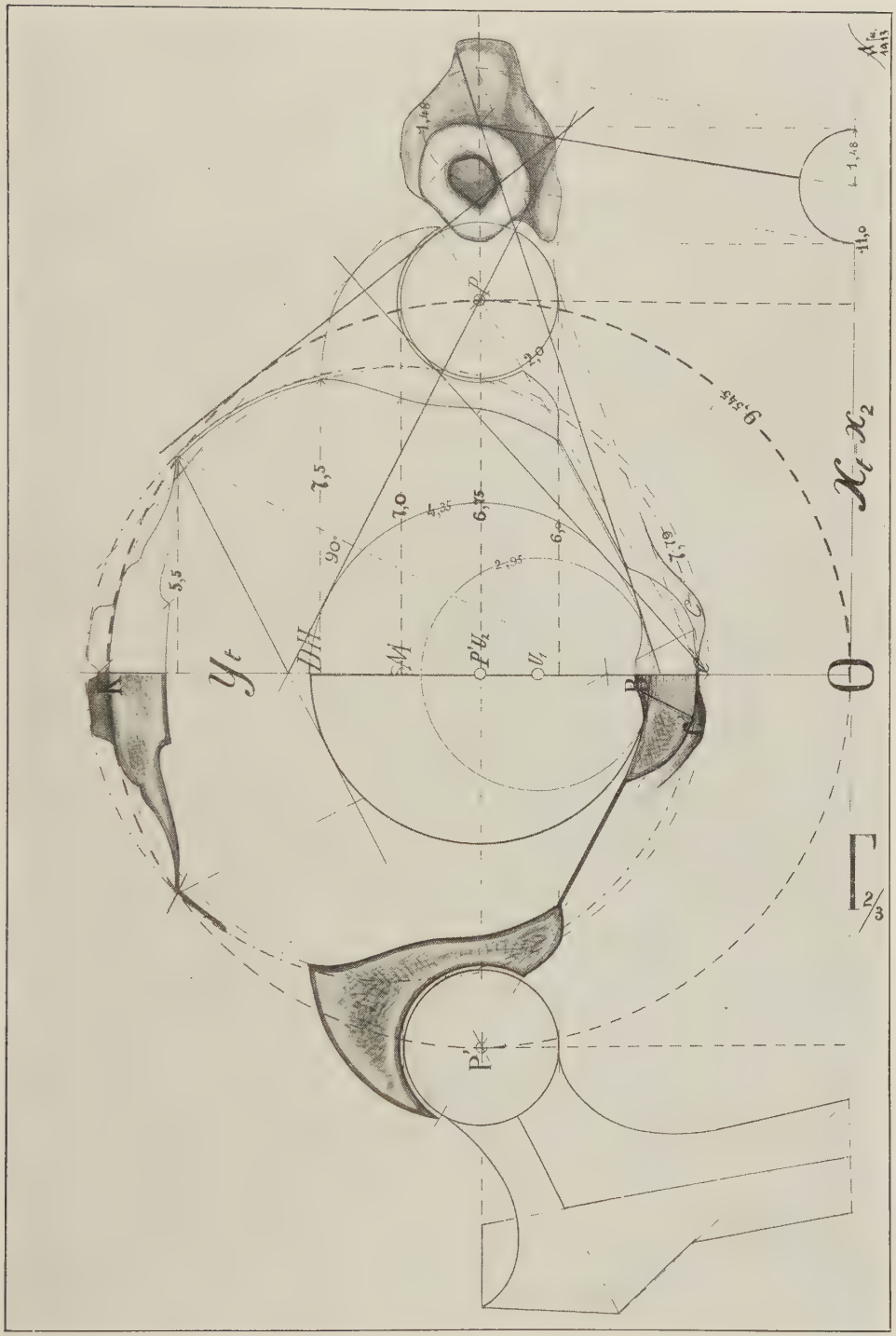
v. Arx, Körperbau und Menschwerdung
Konstruktionspläne.

Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.

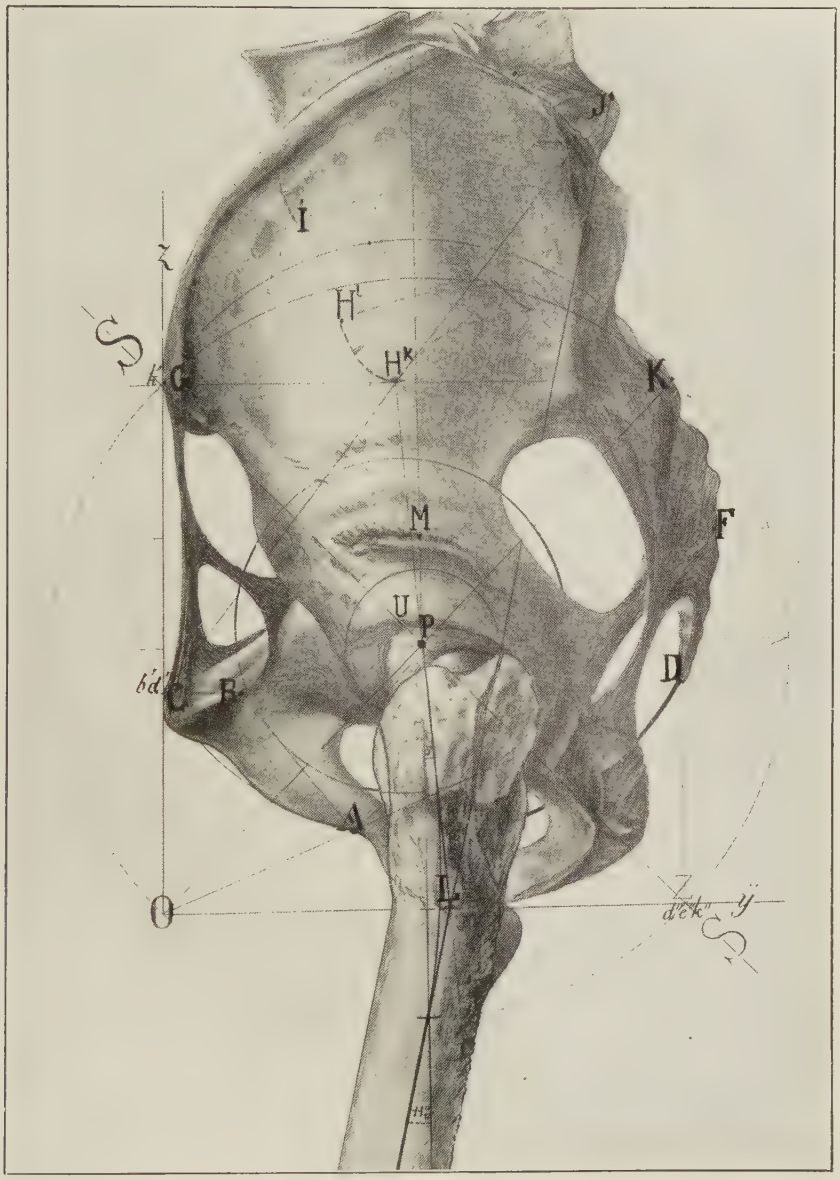


Projektion und Konstruktion
auf die Ebene Γ_s der „Hauptachse“ SS.

4. Längsschnitt durch die männliche Beckenform.



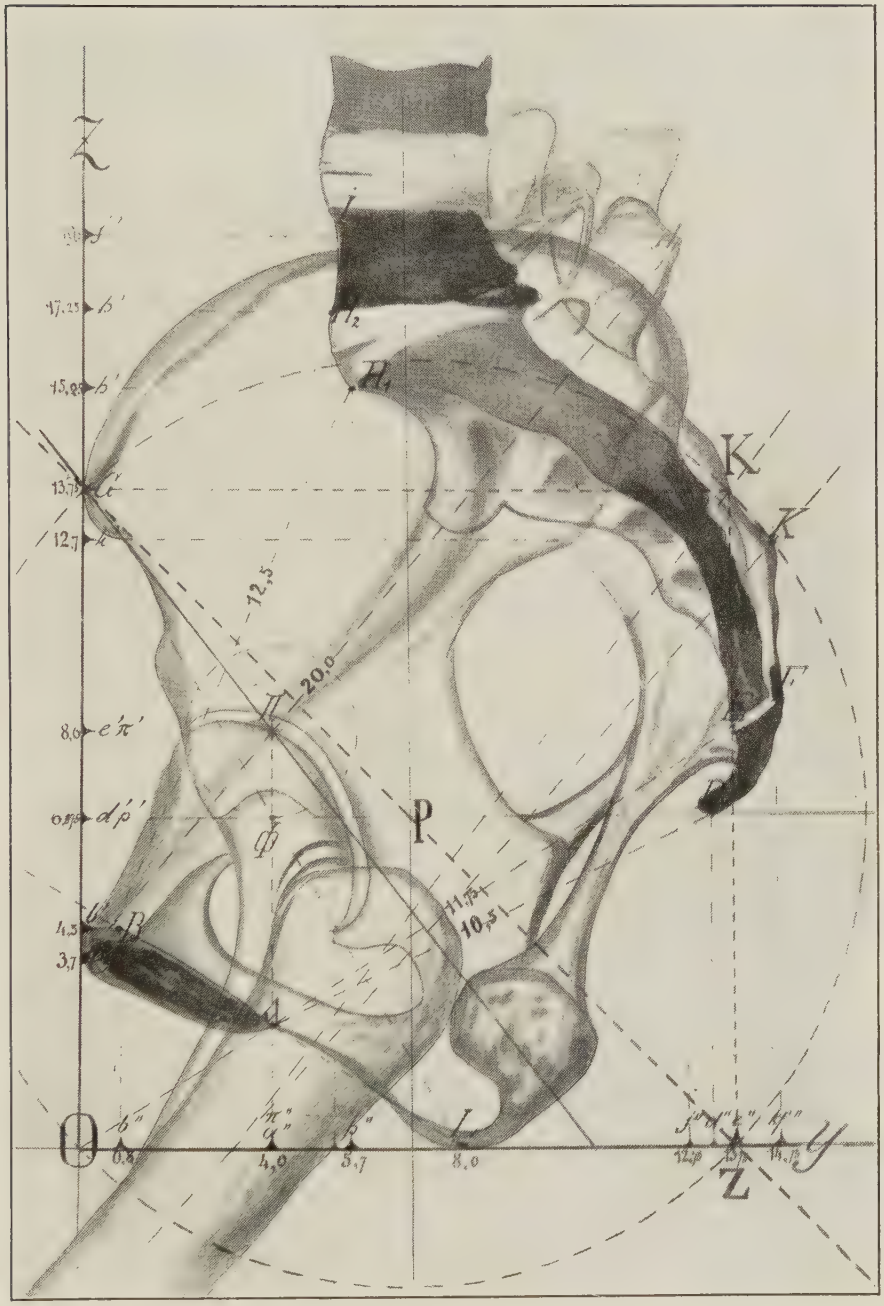
5. Querschnitt durch das männliche Becken.



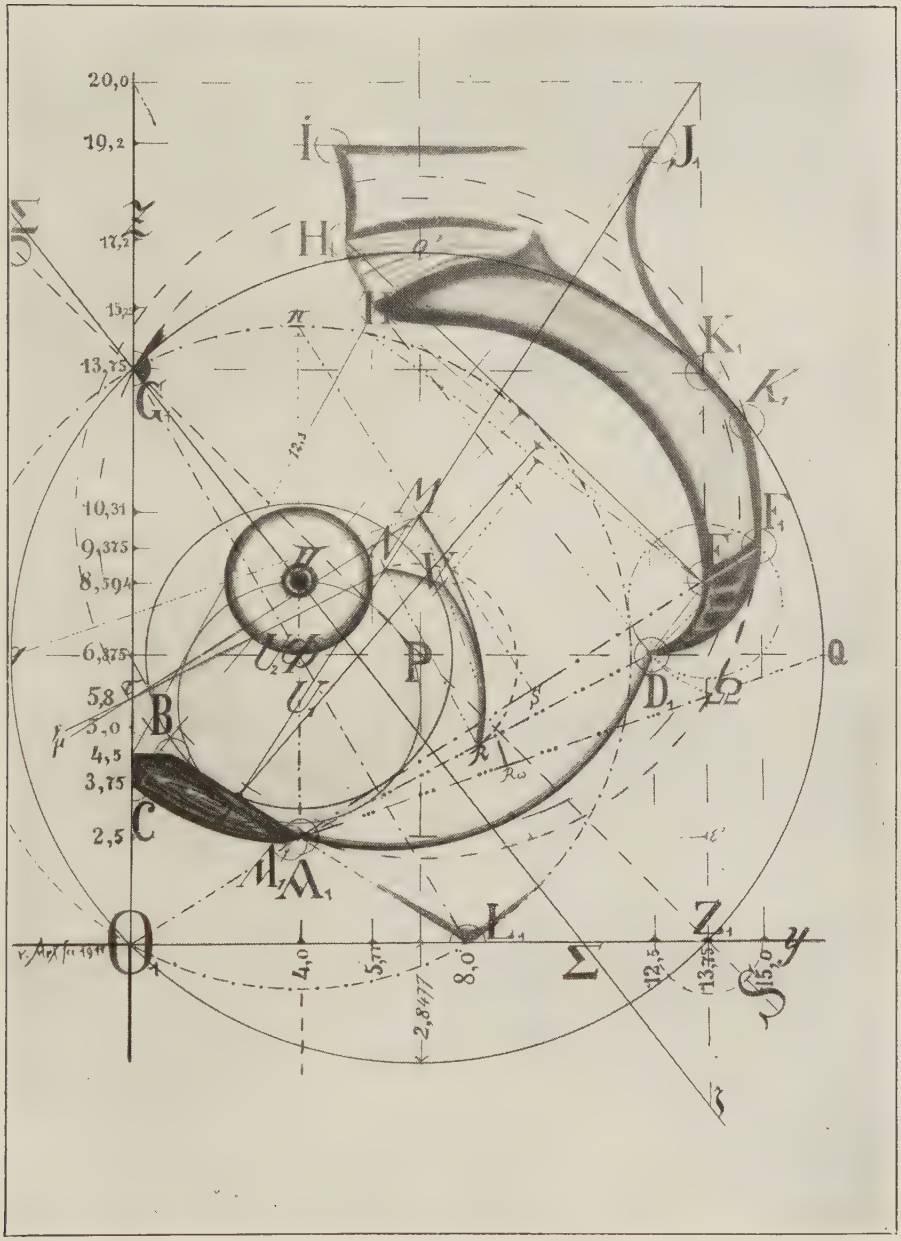
Seitliche Orthogonal-Projektion des männlichen Beckens
mit Schenkelstellung in Ruhelage.

v. Arx, Körperbau und Menschwerdung
Konstruktionspläne.

Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.

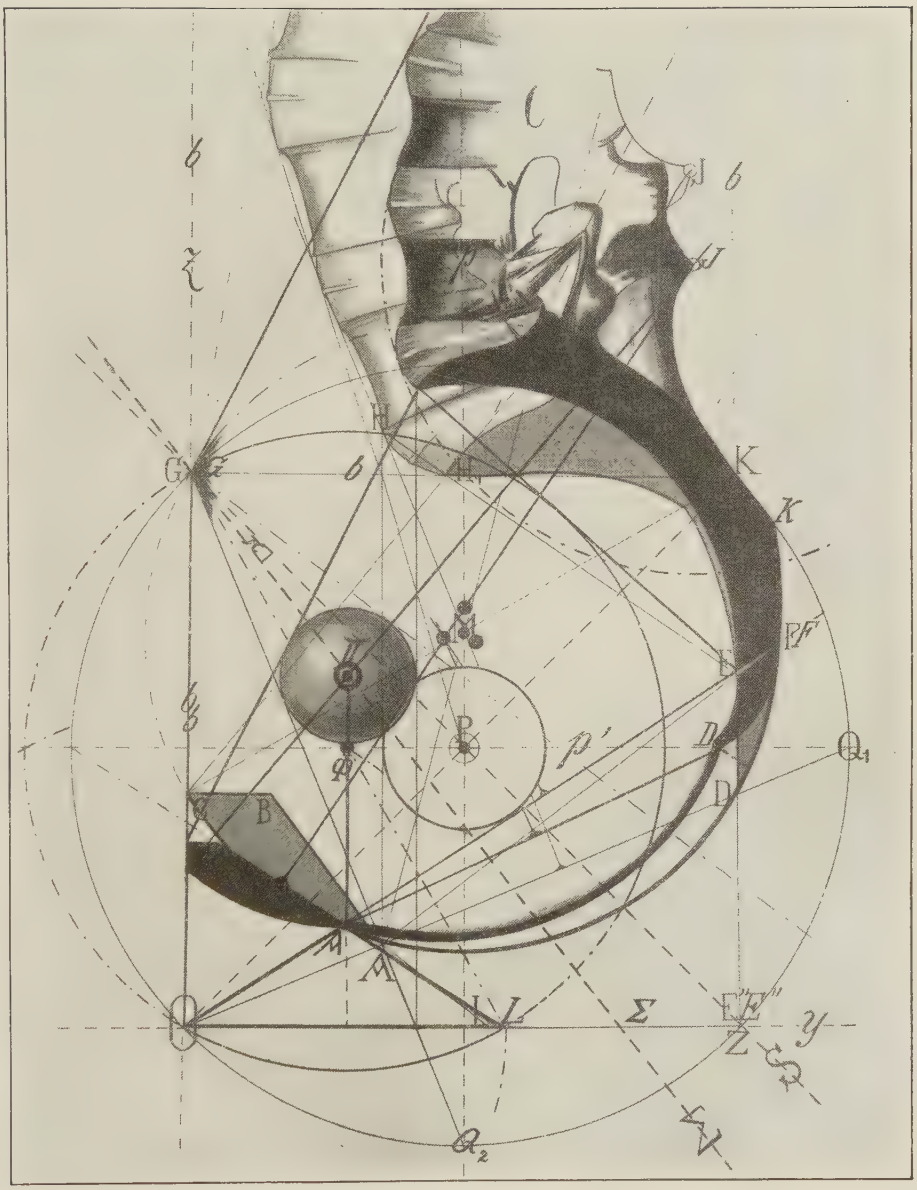


1a. Seitliche Orthogonal-Projektion eines weiblichen Beckens
auf die Medianebene Γ_1.



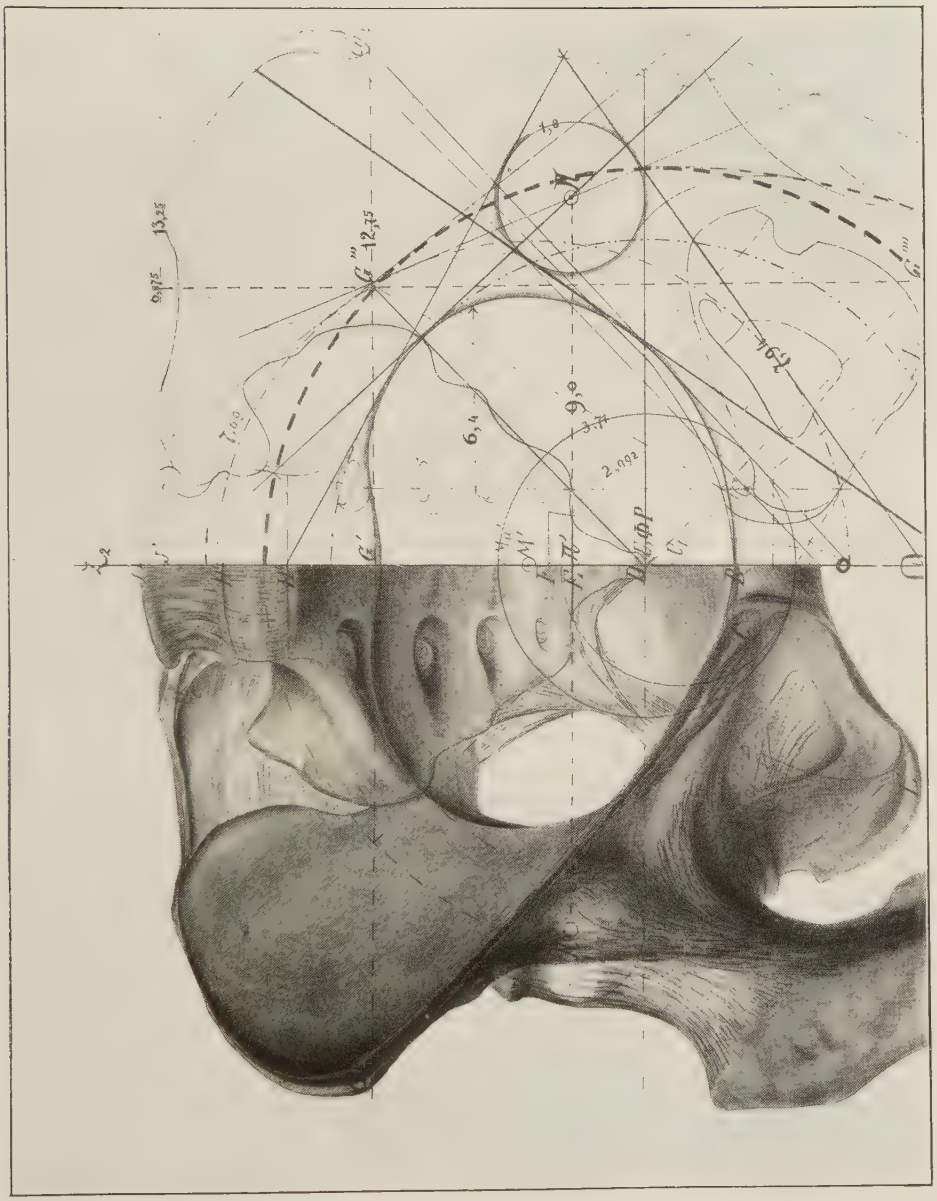
1b. Konstruktion der weiblichen Beckenform
auf der Medianebene Γ_1.

Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.



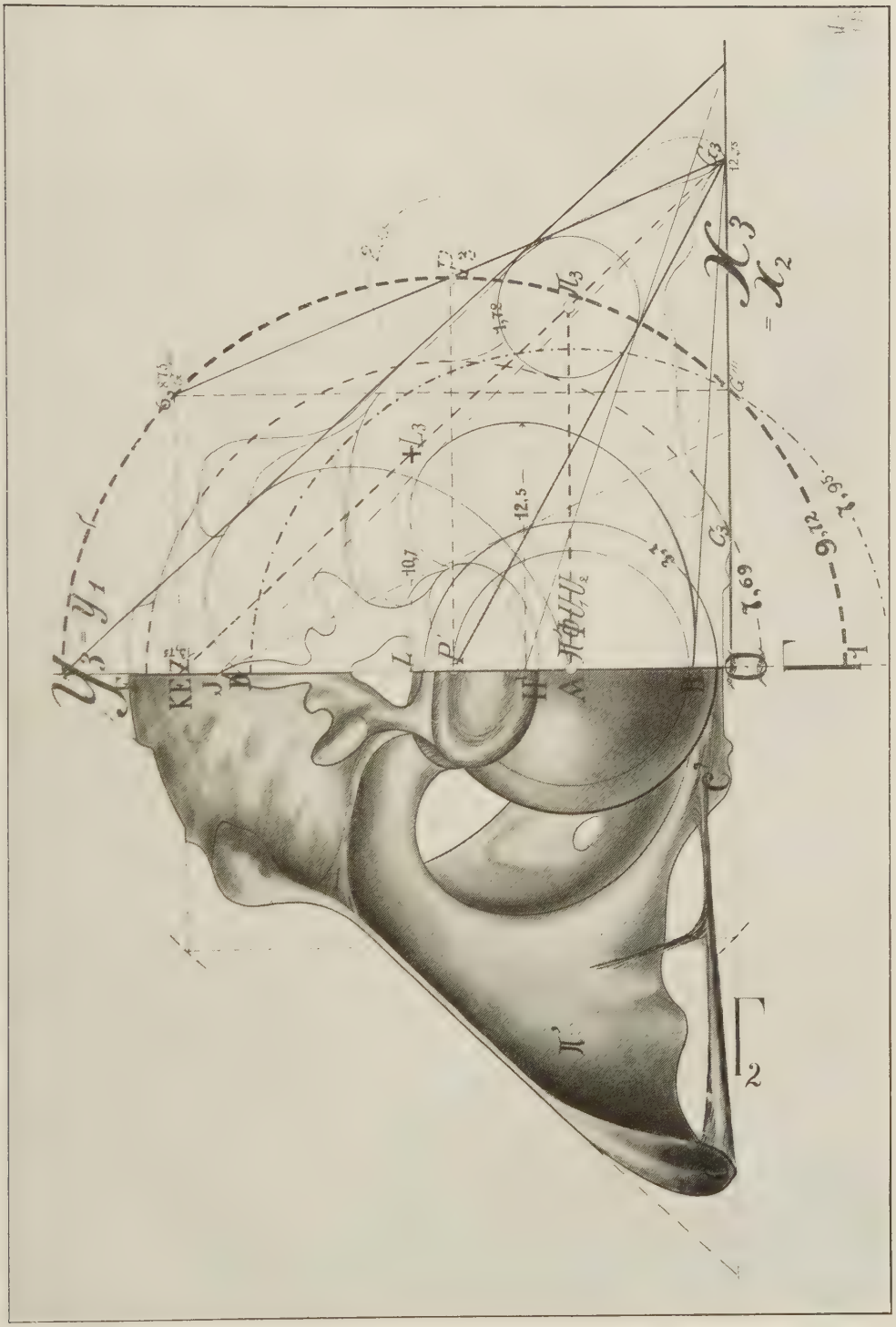
2. Die männliche und die weibliche Beckenform auf gleichem Grundmaß konstruiert.

Zweite und dritte Beckenformierung.



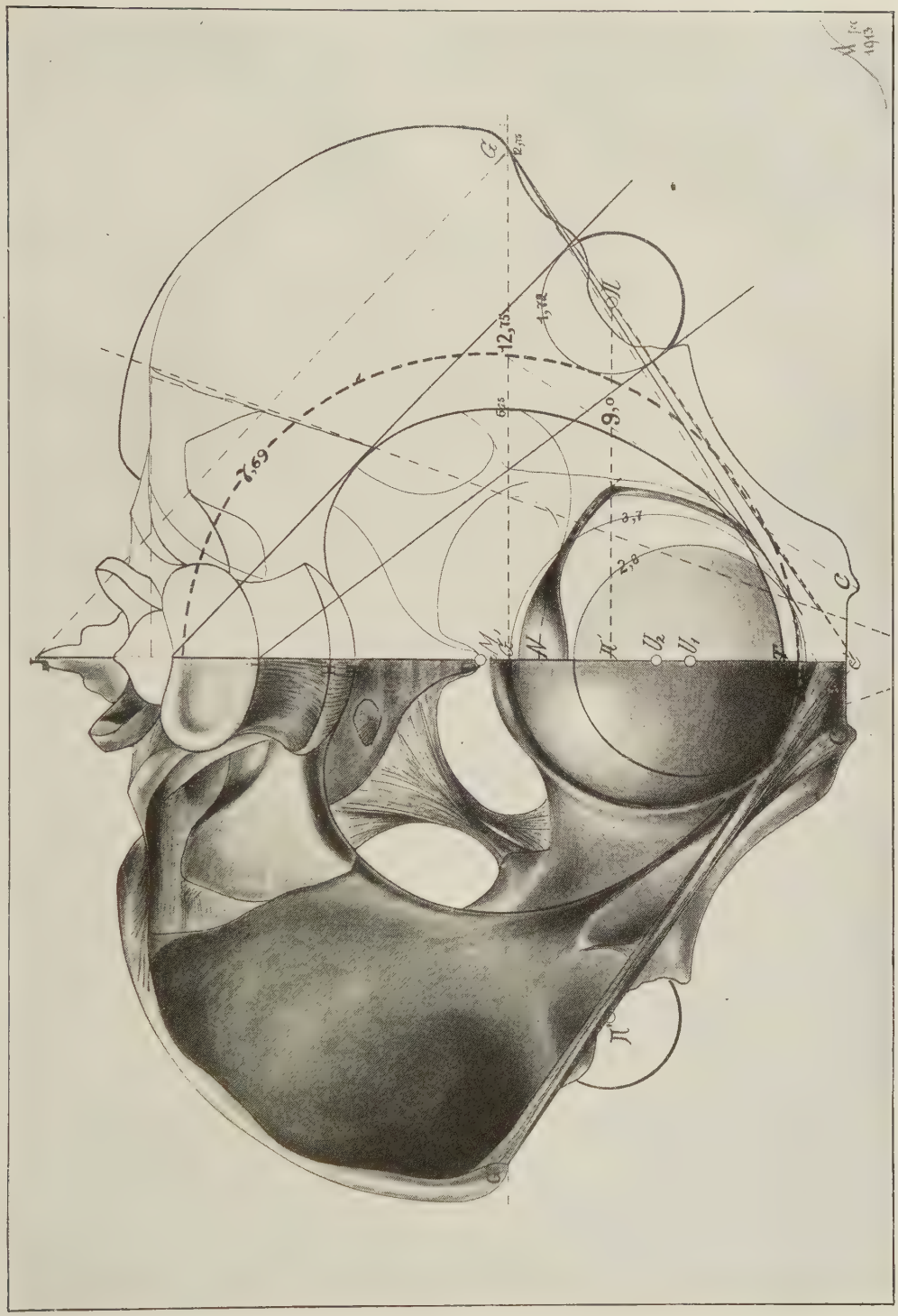
Projektion und Konstruktion auf die frontale Pubospinal-Ebene I_2.

3. Frontalansicht des weiblichen Beckens.



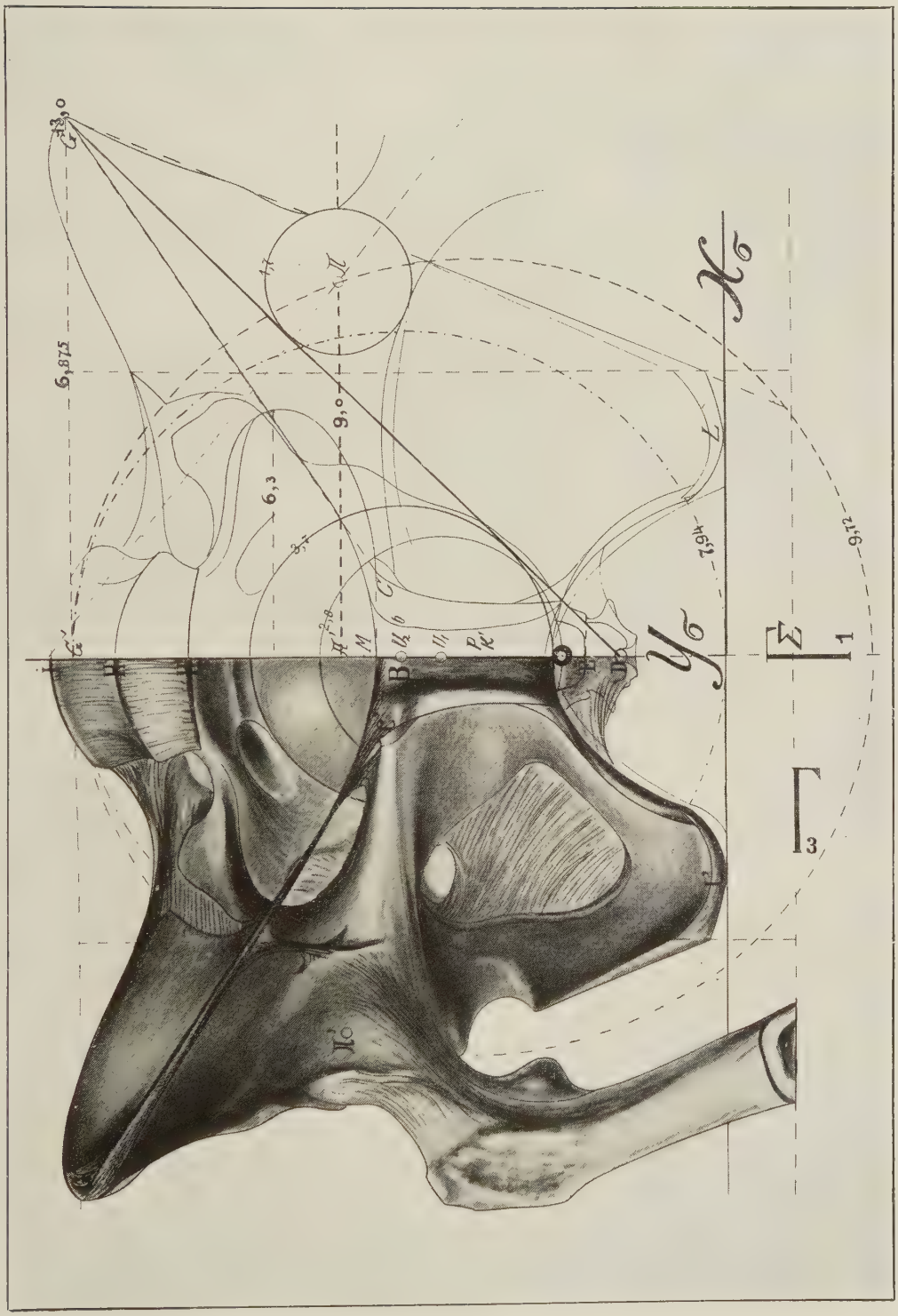
Projektion und Konstruktion auf die Beckengrundebene l_3.

4. Grundriß der weiblichen Beckenform.



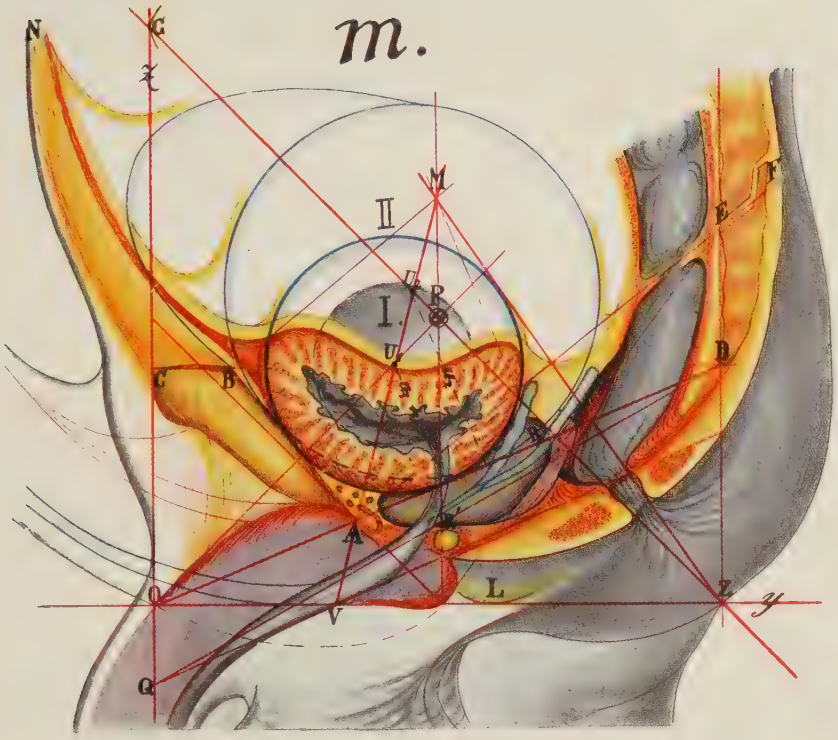
Projektion und Konstruktion auf die Ebene der Leitlinie *l'z*.

5. Querschnitt durch das weibliche Becken.



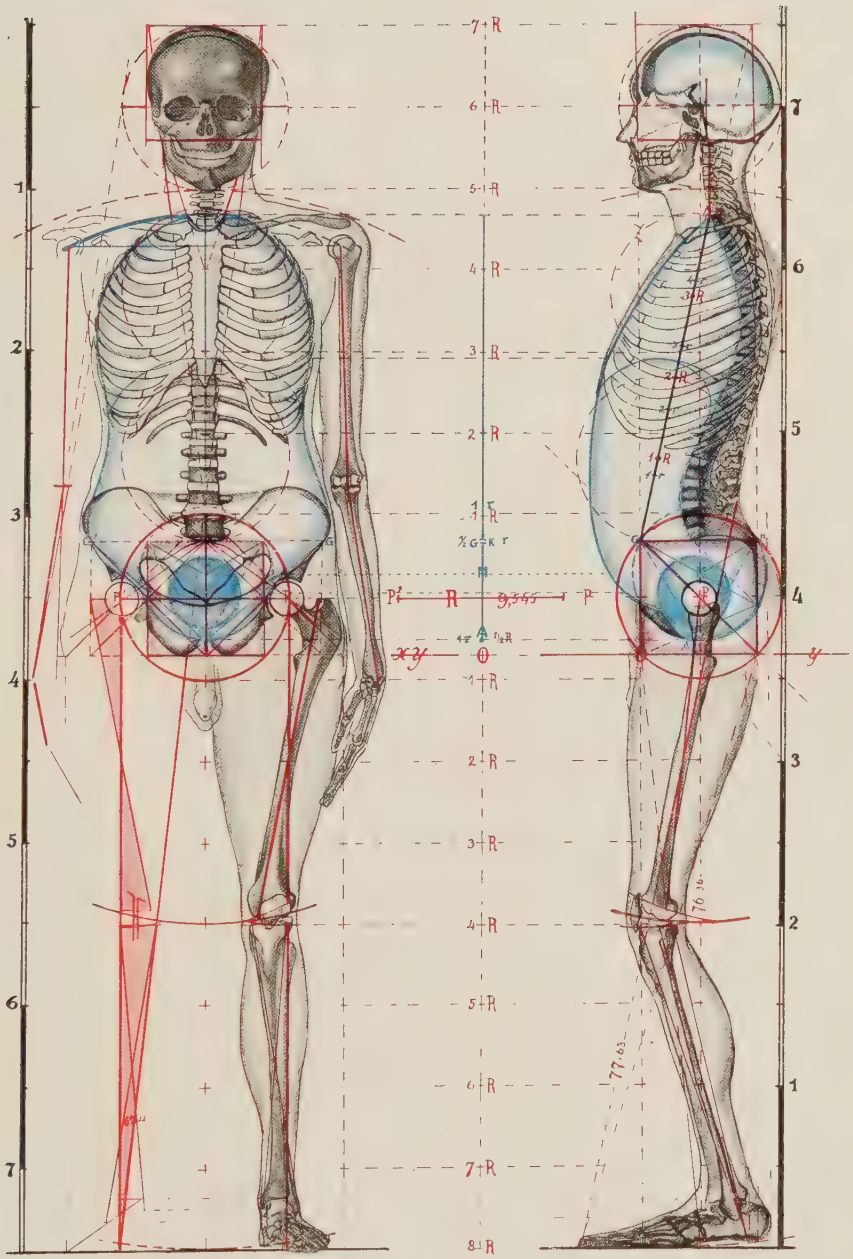
6. Längsschnitt durch das weibliche Becken.

8. Seitliche Orthogonal-Projektion der weiblichen Beckenform auf Γ_1 mit Schenkelstellung in Ruhelage.



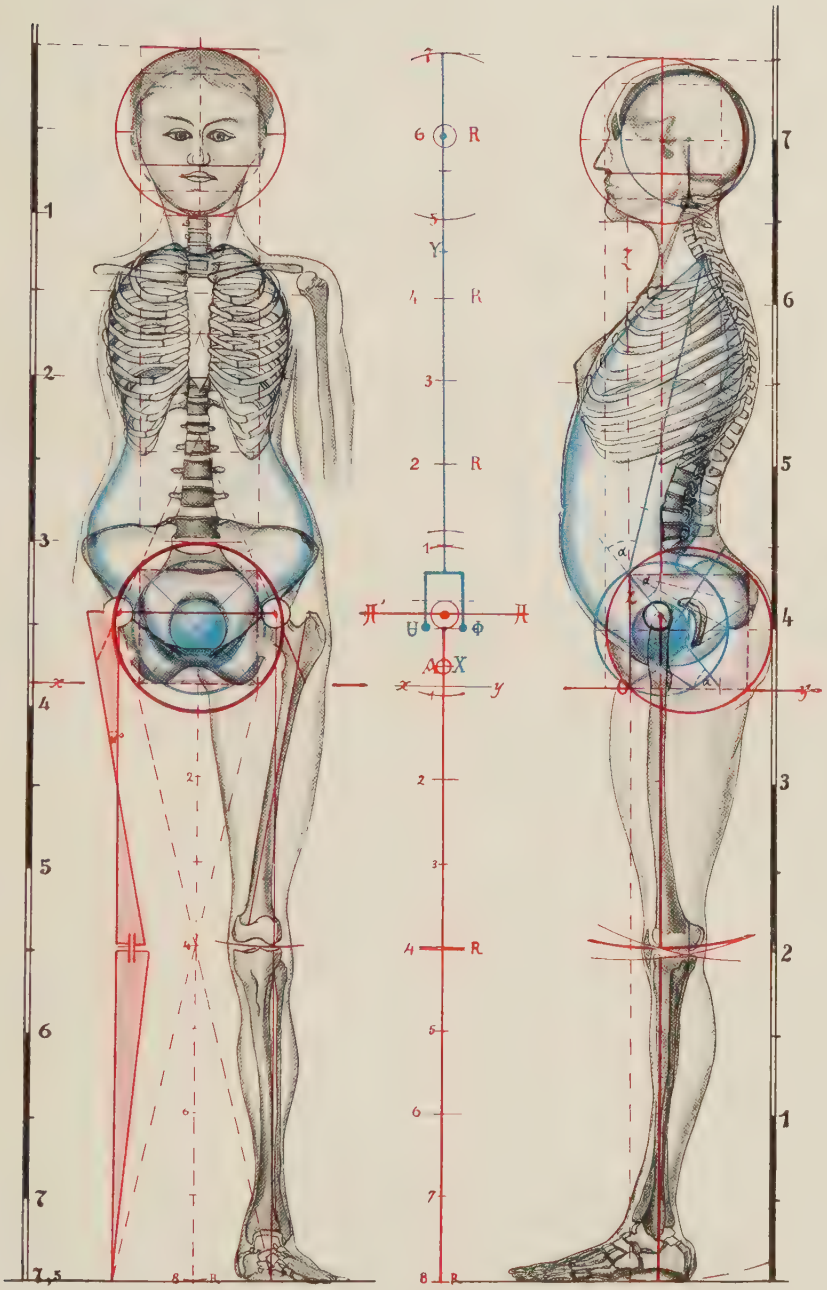
Die Topographie des Beckenendes im Lichte des mechano-statischen Systems.

m — männlich, *f* — weiblich. Bezeichnung und Lage der Punkte nach Taf. II u. IX. I erste Phase der Blasenkugelformierung (U_1), II zweite Phase der Blasenkugelformierung (U_2), bei II *f* wandert der Drehpunkt des Uterus *N* nach *M*.



Das Konstruktionsprinzip der männlichen Körperform mit gebrochener Rumpfachse
(Proportionen nach MARTIN)
mechanisch im stabilen, statisch im labilen Gleichgewicht.

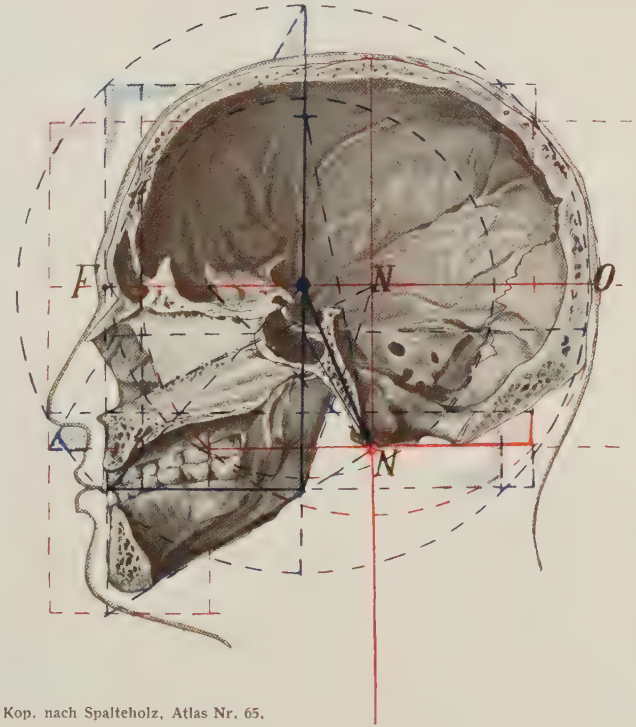
Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.



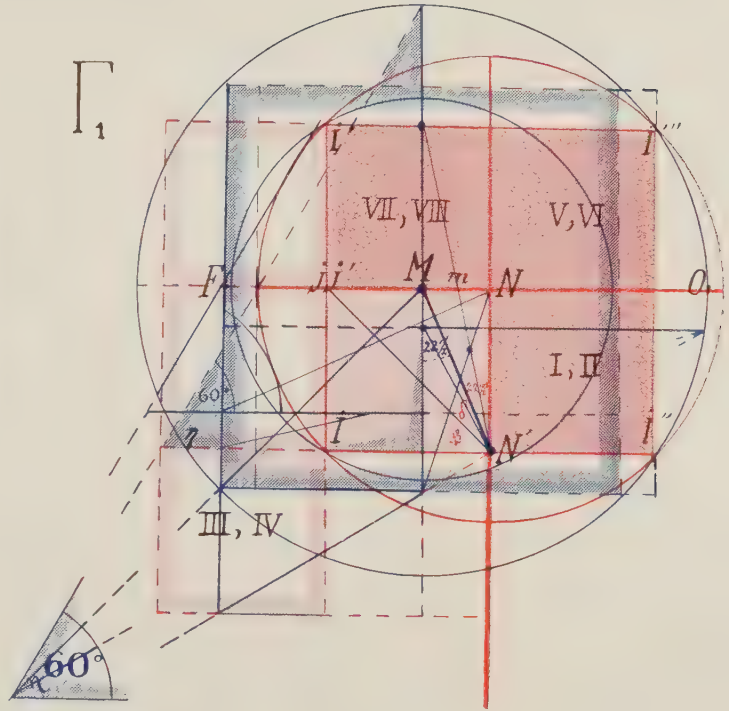
Das Konstruktionsprinzip der weiblichen Körperform mit gebrochener Rumpfachse
(Proportionen nach MARTIN)
mechanisch im labilen, statisch im stabilen Gleichgewicht.

Gestalten und Erhalten der Kopfform
in der mechano-statischen Gleichgewichtslage.

TAFEL XIXa.



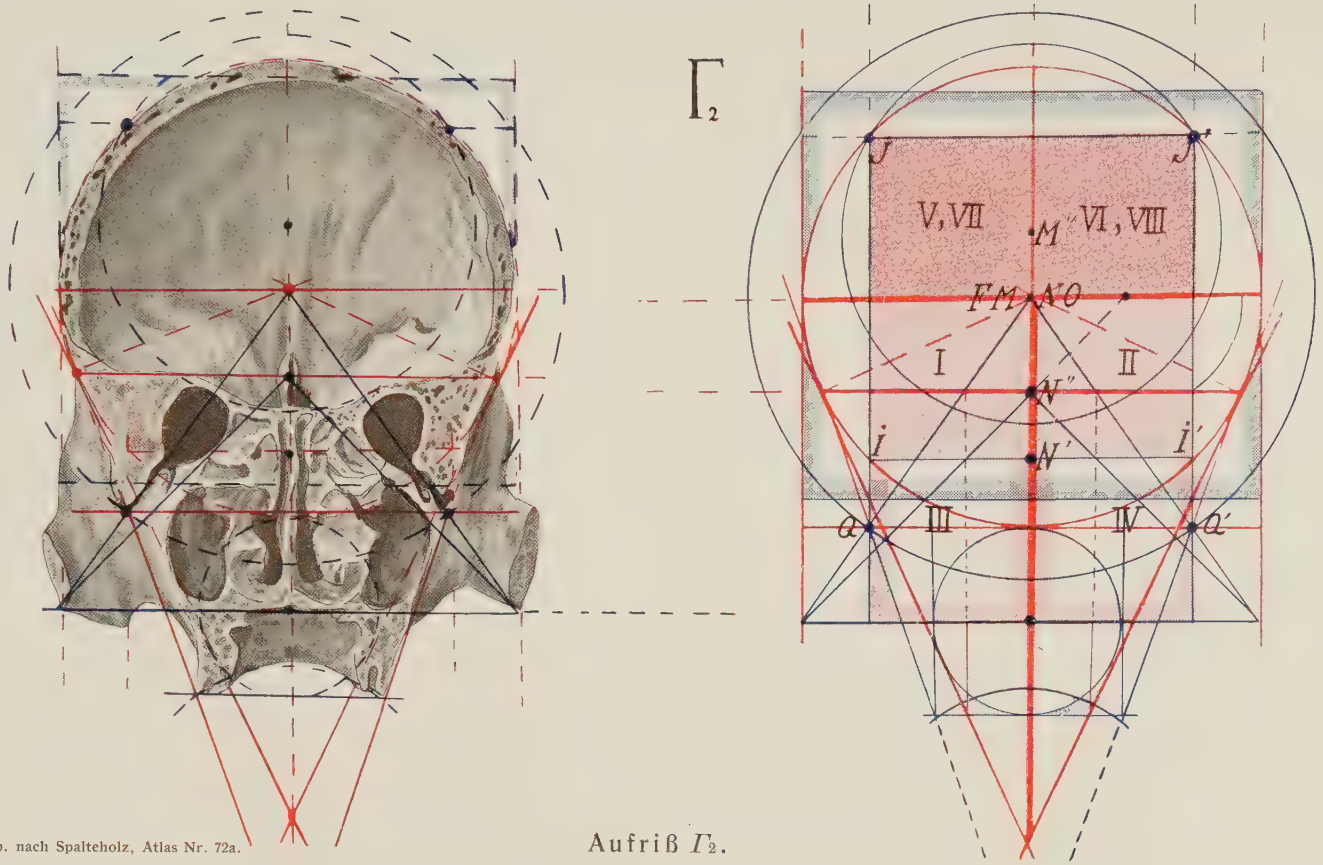
Kop. nach Spalteholz, Atlas Nr. 65.



Seitenriß Γ_1.

v. Arx, Körperbau und Menschwerdung
Konstruktionspläne.

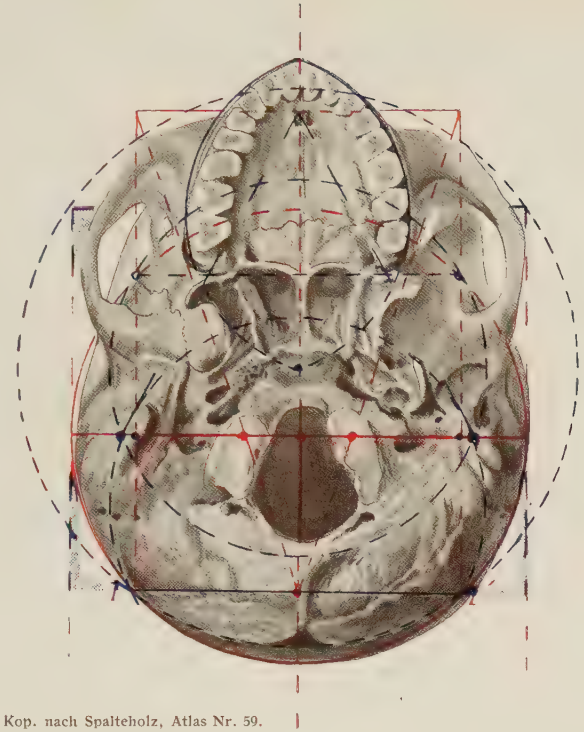
Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.



Kop. nach Spalteholz, Atlas Nr. 72a.

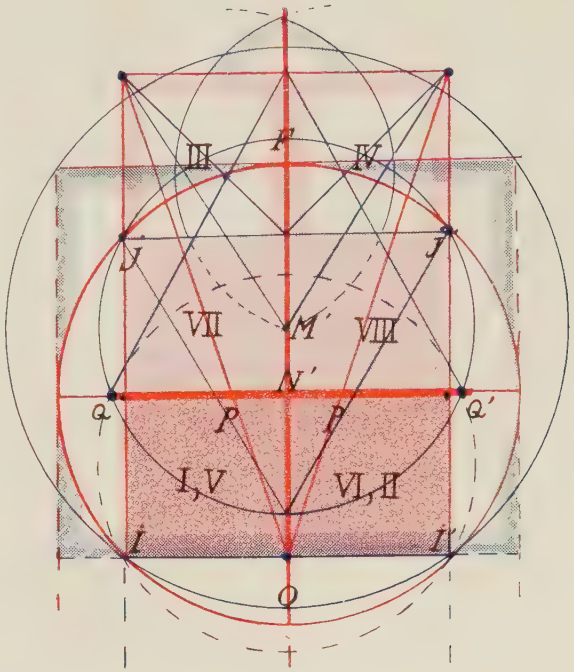
Aufriß Γ_2.

Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.



Kop. nach Spalteholz, Atlas Nr. 59.

Γ_3

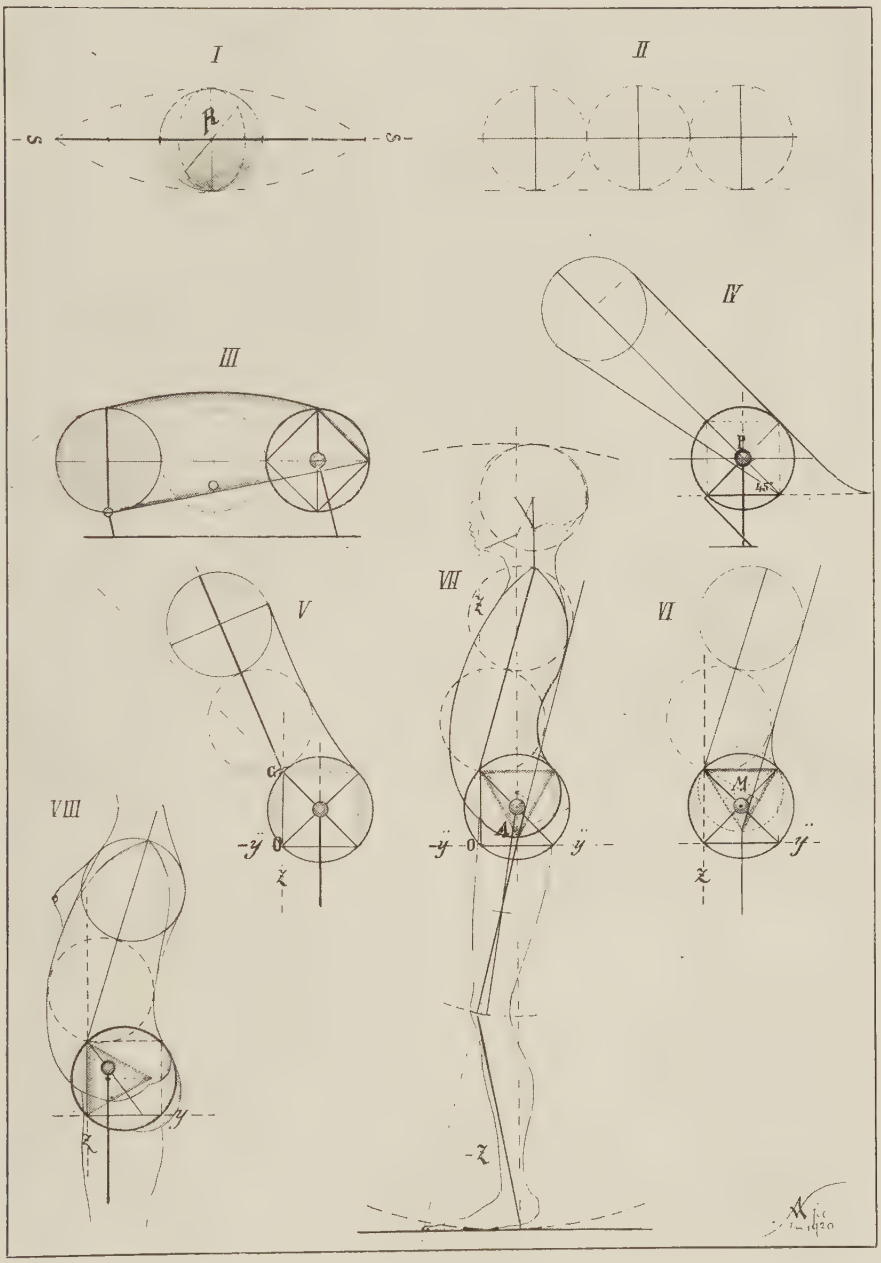


Grundriß Γ_3.

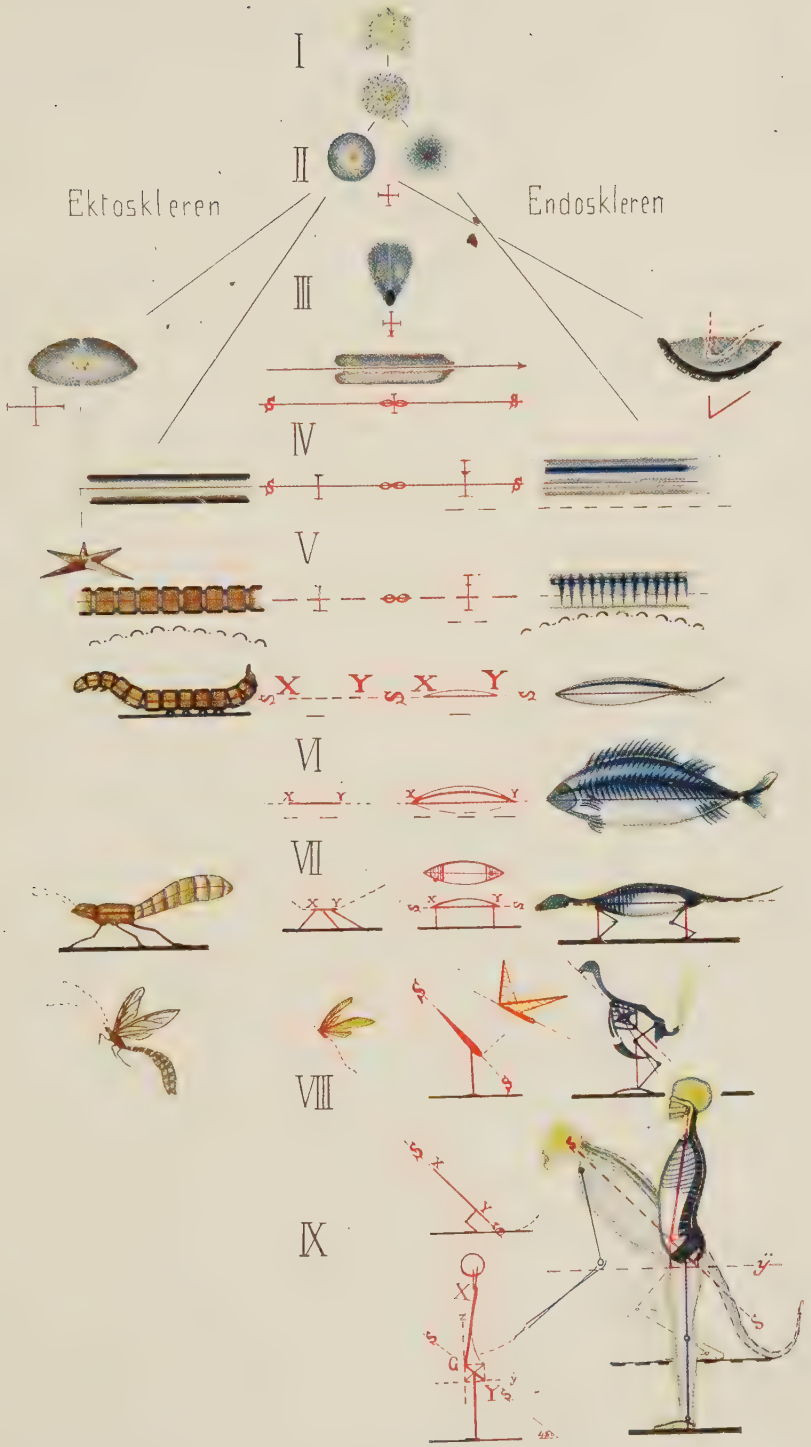
Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.

Funktion und Form.

Zum Problem der Selbststeuerung in Form- und Kraftwechsel der Organismen.



Die mechano-statische Evolution des menschlichen Torso.



Die Stufenfolge der mechano-statischen Korrelation in der Entwicklung der animalen Körpersubstanz.

Verlag Ernst Bircher, Leipzig
Aktiengesellschaft.

f
3.A.12.
Korperbau und menschwerdung; ko1922
Countway Library AUD8600
3 2044 045 233 954

f
3.A.12.
Korperbau und menschwerdung; ko1922
Countway Library AUD8600
3 2044 045 233 954